



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLOS SOB  
PASTAGEM E ECOSSISTEMA NATURAL**

**DANIEL FERREIRA DE LIMA ELIZIARIO**

**AREIA - PB**

**2018**

DANIEL FERREIRA DE LIMA ELIZIARIO

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLOS SOB  
PASTAGEM E ECOSSISTEMA NATURAL**

Dissertação apresentada para obtenção do  
título de **Mestre em Ciência do Solo**.  
Área de concentração: Ciclos  
Biogeoquímicos.

**Orientador:** Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

**AREIA - PB**

**2018**

**0Catalogação na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

E43e Elizario, Daniel Ferreira de Lima.

Estoque de carbono e nitrogênio em Latossolos  
sob  
pastagem e ecossistema natural / Daniel Ferreira de  
Lima Elizario. - Areia, 2018.  
74 f. : il.

Orientação: Bruno de Oliveira Dias.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/PPGCS.

1. Mudança de uso do solo. 2. Carbono orgânico. 3.  
Nitrogênio total. 4. Aquecimento global. I. Dias,  
Bruno de Oliveira. II. Título.

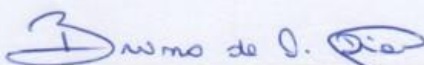
UFPB/CCA-AREIA

DANIEL FERREIRA DE LIMA ELIZIARIO

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLOS SOB  
PASTAGEM E ECOSSISTEMA NATURAL**

Aprovada em 26 de Novembro de 2018

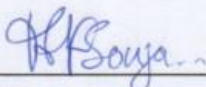
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

PPGCS/CCA/UFPB

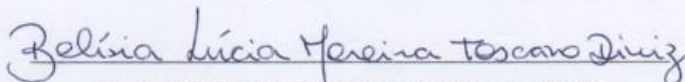
**Orientador**



Dr. Tancredo Augusto Feitosa de Souza

PPGCS/CCA/UFPB

**Examinador Interno**



Profa. Dra. Belisia Lúcia Moreira Toscano Diniz

PPGCAG/CCHSA/UFPB

**Examinadora Externa**

AREIA - PB

2018

***DEDICO***

***À minha mãe Maria do Desterro Ferreira de Lima Elizario, ao meu pai Arinaldo Elizario dos Santos e aos meus irmãos André Ferreira de Lima Elizario, Camila Ferreira de Lima Elizario e Danilo Ferreira de Lima Elizario.***

## AGRADECIMENTOS

*Aos meus pais, Desterro e Arinaldo, pelo amor que reservaram a mim e aos meus irmãos, incentivando sempre nossas consciências na busca de conhecimento e na construção de uma moral limpa, nos tornando cidadãos justos e de bons costumes.*

*Aos meus irmãos André, Camila e Danilo, e minha namorada Letícia, pelo o amor, momentos de carinho, boas conversas e troca de conhecimentos.*

*À toda minha família, em especial meus avós, Seu Zezinho, Seu Severino (in memoriam), Dona Carminha e Dona Maria (in memoriam), que me impulsionaram e colaboraram na formação do meu caráter, tudo o que sou hoje devo grande parte a eles.*

*Ao meu orientador, Professor Bruno, pelo apoio, paciência, pelos bons conselhos e pelos ensinamentos passados.*

*Aos colegas da Pós-graduação e do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo onde construí grandes amizades, pelos momentos de aprendizado e pelas brincadeiras.*

*À todo corpo docente do PPGCS, por todos os ensinamentos que contribuirão na minha vida pessoal e profissional.*

*À todos os meus amigos e amigas que contribuíram direta ou indiretamente na conclusão desse objetivo.*

*À Ordem DeMolay e a Maçonaria, através do Capítulo Águia de Haya e a Loja Professor Leônidas Santiago, por estimular a construção de virtudes, me lapidando em noções de justiça, retidão e solidariedade.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto de pesquisa, através do Processo 446137/2015-4.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1- Pastagem versus Ecossistema Natural .....	2
2.2- Teores e estoques de Carbono e Nitrogênio em Latossolos .....	6
2.3- Distribuição vertical de Carbono e Nitrogênio em Latossolos .....	8
2.4- Efeito do manejo nas Pastagens e da conservação dos Ecossistemas Naturais nos teores de Carbono e Nitrogênio nos solos .....	10
<b>3- MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1- Localização e caracterização dos ambientes de estudo .....	13
3.2- Histórico dos ambientes .....	14
3.3- Textura do Solo .....	16
3.4- Amostragem de solo .....	17
3.5- Análises de amostras de solo .....	18
3.6- Análise dos estoques totais .....	18
3.7- Análises Físico-Químicas .....	19
3.7.1- Determinação da Fração Granulométrica do Solo .....	19
3.7.2- Densidade do Solo .....	20
3.7.3- Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo .....	20
3.7.4- Determinação do Carbono Orgânico Total .....	20
3.7.5- Determinação do Nitrogênio Total .....	21
3.8- Análise Estatística .....	22
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
4.1- Densidade do Solo .....	23
4.2- Nitrogênio Total .....	25
4.3- Carbono Orgânico Total .....	28
4.4- Carbono Orgânico Particulado .....	32
4.5- Carbono Orgânico associado aos Minerais .....	35
4.6- Estoque de Nitrogênio Total .....	39
4.7- Estoque Carbono Orgânico Total .....	43
4.8- Estoque de Carbono Orgânico Particulado .....	47
4.9- Estoque de Carbono Orgânico associado aos Minerais .....	50
4.10- Análise de Componentes Principais .....	53
<b>5- CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 56

### LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Granulometria, textura e classificação nos perfis de solo (0-100 cm).....	17
<b>Tabela 2.</b> Média e desvio padrão da densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) nos perfis (0-100 cm).....	23
<b>Tabela 3.</b> Média e desvio padrão do nitrogênio total (%) nos perfis (0-100 cm). ....	25
<b>Tabela 4.</b> Média e desvio padrão do carbono orgânico total (%) nos perfis (0-100 cm)....	29
<b>Tabela 5.</b> Média e desvio padrão do carbono orgânico particulado (%) nos perfis (0-100 cm). .....	32
<b>Tabela 6.</b> Média e desvio padrão do carbono orgânico associado aos minerais (%) nos perfis (0-100 cm).....	35
<b>Tabela 7.</b> Média e desvio padrão do estoque de nitrogênio total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm). ....	39
<b>Tabela 8.</b> Média e desvio padrão do estoque de carbono orgânico total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).....	43
<b>Tabela 9.</b> Média e desvio padrão do estoque de carbono orgânico particulado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm). ....	47
<b>Tabela 10.</b> Média e desvio padrão do estoque de carbono orgânico associado aos minerais ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).....	50

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Climatográfico dos meses de coleta com precipitação diária (mm) e temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ ). ....	13
<b>Figura 2.</b> Distribuição de nitrogênio total (%) nos perfis (0-100 cm). ....	27
<b>Figura 3.</b> Distribuição de carbono orgânico total (%) nos perfis (0-100 cm).....	31
<b>Figura 4.</b> Estoque de nitrogênio total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).....	42
<b>Figura 5.</b> Estoque de carbono orgânico total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm). ....	46
<b>Figura 6.</b> Análise de componentes principais nos perfis (0-100 cm). ....	53



**ELIZIARIO, D. F. L.** Estoques de carbono e nitrogênio em Latossolos sob pastagem e ecossistema natural. Areia-Paraíba, 2018, 74f. Departamento de Solos e Engenharia Rural. Centro de Ciências Agrárias, UFPB. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias.

## **RESUMO**

A mudança do uso do solo na conversão de ecossistemas naturais em pastagens provocam alterações nas propriedades e na qualidade do solo. O objetivo geral deste estudo foi avaliar como a conversão de ecossistema natural em pastagem afeta os compartimentos de estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em Latossolos. O estudo foi conduzido na cidade de Areia-Paraíba, Brasil. Foram selecionados dois locais, no primeiro local tivemos três pontos de coleta (duas pastagens e o ecossistema natural de referência) e no segundo local, dois pontos (uma pastagem e o ecossistema natural de referência). Nos pontos de coleta foi aberta uma trincheira de  $1 \times 1 \times 1$  m onde foram coletadas amostras do perfil nas seguintes camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, sendo nestes quantificados as densidades do solo, os teores de nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COM), estoque de nitrogênio total (ENT), estoque de carbono orgânico total (ECOT), estoque de carbono orgânico particulado (ECOP) e estoque de carbono orgânico associado aos minerais (ECOM). Os dados foram submetidos à análise utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para avaliar as diferenças existentes entre os compartimentos nos solos dos ambientes foi empregado o teste Bonferroni 5% pareado. Para investigar as diferenças existentes entre as formas de C e N no solo nas camadas entre os ambientes e a distribuição vertical de C e N em diferentes profundidades, foi empregada uma ANOVA two-way, processados pelo software livre R studio. A conversão de ecossistema natural em pastagem afeta os estoques de carbono e nitrogênio e modificam a sua dinâmica no solo, provocando alterações nos compartimentos e afetando a adição de resíduos orgânicos no solo. A intervenção humana nos ecossistemas naturais e a implantação de sistemas agropecuários contribuem para a emissão de carbono e nitrogênio para a atmosfera.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudança de uso do solo, carbono orgânico, nitrogênio total, aquecimento global.

**ELIZIARIO, D. F. L.** Carbon and nitrogen stocks in Latossolos under pasture and natural ecosystem. Areia-Paraíba, 2018, 74f. Department of Soils and Rural Engineering. Center of Agrarian Sciences, UFPB. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias.

## **ABSTRACT**

Changing land use in the conversion of natural ecosystems to pasture causes changes in soil properties and quality. The general objective of this study was to evaluate how conversion of natural ecosystem to pasture affects C and N stock compartments in Latossolos. The study was conducted in the city of Areia-Paraíba, Brazil. Two places were selected, in the first place we had three collection points (two pastures and the reference natural ecosystem) and the second place, two points (one pasture and the reference natural ecosystem). At the sample collection points, a  $1 \times 1 \times 1$  m trench was opened where profile samples were collected in the following layers 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, being in these quantified the densities of the soil, the total nitrogen (TN) contents, total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), mineral-associated organic carbon (MOC), stock total nitrogen (STN), stock of total organic carbon (STOC), stock of particulate organic carbon (SPOC) and stock mineral-associated organic carbon (SMOC). The data were submitted to the analysis using the Kolmogorov-Smirnov test. To evaluate the differences between the compartments in the soils of the studied environments, the paired Bonferroni 5% test was used. To investigate the differences between the C and N forms in the soil in the layers between the environments and the vertical distribution of C and N at different depths, a two-way ANOVA was used, processed by free software R studio. The conversion of natural ecosystem to pasture affects the carbon and nitrogen stocks and modify their dynamics in the soil, causing changes in the compartments and affecting the addition of organic residues in the soil. Human intervention in natural ecosystems and the implementation of farming systems contribute to the emission of carbon and nitrogen into the atmosphere.

**KEYWORDS:** Change in land use, organic carbon, total nitrogen, global warming.

## 1- INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas é uma das principais preocupações no globo atualmente e sua causa vem sendo muito discutida. Segundo o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), as atividades antrópicas são as responsáveis pelas alterações ambientais e metade da elevação da temperatura média global observada de 1951 até 2010 com 95% de certeza tem origem antropogênica. No Brasil, um dos maiores responsáveis pelo aquecimento global é o desmatamento para implantação de sistemas agropecuários e o manejo inadequado do solo. A incapacidade em manter a produtividade desses sistemas incentiva a abertura de outros, intensificando o desflorestamento.

O setor agropecuário brasileiro contribui de forma considerável com o aumento do aquecimento global chegando a emitir segundo a plataforma de Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2017), cerca de 495 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Somando-se as emissões indiretas por desmatamento, e as diretas, o agronegócio responde por 71% das emissões totais do país, quase 1,5 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

A mudança do uso do solo na conversão de ecossistemas naturais em pastagens provocam alterações nas propriedades e na qualidade do solo, promovendo processos de compactação, erosão, degradação e perda da matéria orgânica. A conversão ainda reduz a quantidade de serapilheira sobre o solo, aumentando a temperatura e reduzindo a umidade do solo, como também diminuindo a diversidade da fauna edáfica no ambiente. Além disso, o pisoteio animal em pastagens de uso intensivo levam a compactação do solo limitando a massa seca vegetal, elevando ainda mais a temperatura e reduzindo a umidade. A compactação provoca maiores densidades e dificuldades na infiltração e condução da água, provocando escoamento superficial e erosão (Castilho, 2014).

O equilíbrio dos ecossistemas naturais proporciona uma conservação da biodiversidade e da ciclagem de nutrientes. Aliado a isso, temos a presença de um microclima estável fornecido pela redução dos raios solares detidos pelas árvores. Essas características tornam os ecossistemas naturais, ambientes capazes de estabilizar e armazenar teores de carbono e nitrogênio no solo. As alterações nas propriedades e na qualidade do solo após a conversão afetam a capacidade de estabilização de carbono e nitrogênio no solo. A variação do acúmulo desses nutrientes entre os ambientes e as camadas do solo, vai depender do manejo, da cobertura do solo e de aspectos edáficos, biológicos e topográficos (Tolessa & Senbeta, 2018).

Além de variações dessa natureza, existem variações de amostragem quando monitoramos carbono e nitrogênio no solo. Para quantificar a reserva total de carbono e nitrogênio, toda a profundidade do perfil do solo deve ser amostrada. À medida que aumenta a profundidade do solo ocorre um decréscimo do conteúdo de carbono e nitrogênio no solo, porém quantidades significativas desses nutrientes armazenadas na subsuperfície podem ser encontradas (Jandl et al., 2014).

Este estudo faz parte de um projeto mais amplo, integrado com instituições parceiras que buscam dados inéditos sobre o acúmulo de carbono e nitrogênio nas principais classes de solos do Nordeste brasileiro em distintos sistemas de uso. As informações sobre as quantidades de carbono e nitrogênio nos solos do Nordeste brasileiro, inclusive em camadas mais profundas, ainda são escassas e heterogêneas, principalmente na conversão de ecossistemas naturais em pastagens. Essas informações não geram estimativas confiáveis do acúmulo de carbono nos solos e na vegetação da região, e muito menos, estimativas de emissões e remoções decorrentes das mudanças climáticas e no uso da terra.

Portanto, o objetivo principal desta pesquisa foi avaliar como a conversão de ecossistema natural em pastagem afeta os compartimentos de estoques de carbono e nitrogênio em Latossolos.

## **2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- Pastagem versus Ecossistema Natural**

A pastagem é um dos maiores ecossistemas do planeta, somando suas áreas naturais e plantadas, chega a cobrir cerca de 26% da superfície terrestre (FAOStat, 2018). A GITE/EMBRAPA (2017) informa que a área total de pastagens naturais e plantadas no território brasileiro chega a ser de 21,2%, demonstrando a representatividade e a influência das pastagens no planeta. No entanto, vem ocorrendo degradações desse sistema ao longo dos anos, isso se torna um problema já que as pastagens contêm uma grande quantidade de carbono orgânico acumulado no solo.

Um fato importante das pastagens em acumular carbono é que elas são formadas por plantas perenes, principalmente gramíneas, que possuem rápido acúmulo de biomassa. As pastagens, geralmente tem o solo coberto por gramíneas, permitindo quando bem manejadas,

menor impacto ao solo e menor potencial de erosão, proporcionando menor decomposição da matéria orgânica do solo (Soussana et al., 2010).

As gramíneas possuem uma elevada relação C/N (Carbono/Nitrogênio) o que lhes permite, em regra, uma maior permanência na superfície do solo e uma baixa taxa de decomposição. A permanência dos resíduos vegetais provenientes das gramíneas vai depender da relação C/N, lignina/N, da degradabilidade do carbono e de sua composição química, dos teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (Silva et al., 2015). A baixa relação C/N e lignina/N, implicariam em uma decomposição mais rápida, desprotegendo o solo e acelerando a mineralização de nutrientes como o carbono e o nitrogênio.

Dentre as gramíneas cultivadas nas pastagens brasileiras, estão as do gênero *Brachiaria*. Esse gênero de gramíneas se destaca por apresentar adaptabilidade a solos ácidos e de baixa fertilidade, especificamente a *Brachiaria decumbens* e a *Brachiaria brizantha* que possui um elevado rendimento de matéria seca e apresenta taxas de decomposição mais lentas em virtude da alta relação C/N e elevado teor de lignina.

As braquiárias quando bem manejadas, podem proporcionar uma cobertura vegetal no solo protegendo-o do impacto da chuva, dos raios solares e contribuindo para a ciclagem de nutrientes. Além disso, podem aumentar o teor de matéria orgânica do solo, promovendo a estabilidade dos agregados através do seu sistema radicular fasciculado que retêm as partículas do solo, evitando sua perda por erosão (Silva et al., 2015). O sistema radicular das gramíneas agregam as partículas nos solos, tanto pelo tipo de raiz como pela liberação de exsudados que entrelaçam pequenos torrões, formando os macro e microagregados. Os exsudados também contribuem para o aumento de carbono e nitrogênio em profundidade, melhorando a qualidade da matéria orgânica em camadas mais profundas.

O acúmulo de matéria orgânica em profundidade pelas gramíneas é ocasionado por suas raízes mortas que acabam sendo decompostas pelos microrganismos, liberando nutrientes e compostos orgânicos que estruturam o solo. A braquiária, por apresentar seu desenvolvimento de forma perene, renova o seu sistema radicular constantemente, fornecendo material que possibilita o acúmulo do carbono e nitrogênio em profundidade (Silva et al., 2015).

Em contraponto a implantação das pastagens, temos a preservação dos ecossistemas naturais. Os ecossistemas naturais possuem um equilíbrio dinâmico que proporciona uma melhor qualidade e funcionamento do solo, promovendo a estabilidade dos teores de carbono e nitrogênio através da matéria orgânica do solo.

A matéria orgânica é composta de diferentes proporções de componentes biologicamente ativos como polissacarídeos, aminoácidos, nucleotídeos, enxofre orgânico, como também, componentes orgânicos estáveis como húmus, gorduras, resinas e ceras, sacarídeos, nitrogênio orgânico e compostos de fósforo. Os processos encarregados pelo acúmulo de carbono e nitrogênio no solo são a agregação, a humificação e a sedimentação, e os encarregados pelas perdas são a erosão, decomposição, volatilização, lixiviação, desmatamento e remoção de colheita.

A matéria orgânica do solo é relevante no processo de acúmulo de carbono, uma maior produção de biomassa corresponde possivelmente a um aumento no carbono nas frações mais lábeis e recalcitrantes. A matéria orgânica também influencia no acúmulo de nitrogênio. A maior concentração de nitrogênio está na fração orgânica, nas formas nítrica e amoniacal, porém apenas uma pequena parte dele é mineralizada e se torna disponível para as plantas (Pegoraro et al., 2011).

Nos ecossistemas naturais, a presença da copa das árvores e a formação de serapilheira promovem menor incidência solar sobre a superfície do solo, diminuindo a temperatura, evaporação de água e o aumento da umidade do solo. Além disso, a serapilheira formada pelas diversidades de árvores estimula a permanência da fauna edáfica, conservando a biomassa microbiana do solo, favorecendo na biodiversidade natural e auxiliando na conservação do solo e na ciclagem de nutrientes. O que acaba proporcionando um maior aporte de matéria orgânica no ecossistema natural e promovendo a adição de substratos orgânicos em diferentes estágios de decomposição.

A fauna edáfica influencia nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Esses organismos são classificados como mega, macro, meso, microfauna e microbiota. A fauna atua em um equilíbrio dinâmico sobre o ecossistema natural auxiliando na aeração do solo com a formação de túneis que facilitam a penetração das raízes das plantas e da água da chuva. Esses organismos produzem excrementos e restos orgânicos formando o húmus, e provocam a bioturbação transportando material mineral e orgânico para diferentes profundidades do solo.

Além disso, formam uma relação predatória equilibrada que regulam as populações, sendo responsáveis pela decomposição e consequentemente pelos processos de mineralização e imobilização por meio de atividades enzimáticas, fornecendo nutrientes ao solo. Eles também são bons indicadores da qualidade do solo, já que a quantidade e a qualidade do material aportado podem afetá-los indicando um processo de degradação (Franco, 2016).

Ademais, microrganismos como fungos micorrizicos arbusculares (FMA's) promovem a estabilização de agregados. Esses fungos por intermédio do crescimento de hifas tem a capacidade de produzir substâncias, dentre elas uma glicoproteína denominada glomalina que tem sido associada à formação e estabilização de agregados do solo, e ao estoque de carbono e nitrogênio (Campos, 2018). A glomalina é uma glicoproteína de natureza hidrofóbica e recalcitrante. Ela se acumula no solo após a decomposição e atua como agente cimentante na formação e proteção dos agregados contra processos de secagem e umedecimento, melhorando a porosidade, a capacidade de infiltração, retenção de água e os teores de matéria orgânica (Peng et al., 2013).

Algumas pesquisas vêm demonstrando a correlação entre a quantidade de glomalina no solo e a estabilidade de agregados com o carbono e o nitrogênio. Nobre et al. (2015) estudando a agregação entre a glomalina e o carbono orgânico em Latossolo Vermelho-Amarelo, observaram altos valores de correlação entre a glomalina e os teores de carbono orgânico total e carbono orgânico particulado na agregação do solo. Lovelock et al., (2004) pesquisando sobre os estoques de glomalina no solo em uma floresta tropical, constataram que a quantidade de carbono e nitrogênio na glomalina em solos tropicais foi estimada em 37% e 4%, respectivamente, representando 3,2% das reservas de carbono e 5% das de nitrogênio no solo.

Examinando as pastagens e os ecossistemas naturais, podemos comparar estudos informando a capacidade que cada sistema tem em acumular carbono e nitrogênio ao solo.

Baseando em algumas pesquisas científicas, a preservação de ecossistemas naturais se torna essencial quando se trata em estocar carbono e nitrogênio no solo. Primieri et al., (2017) apresentando dados da dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina, mostra que o ecossistema natural do estudo (Floresta Ombrófila Mista) teve maior capacidade em acumular carbono do que uma pastagem nativa (Campo Nativo), cerca de 75,71 Mg ha<sup>-1</sup> e 70,71 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Segundo os autores, esses valores são explicados pelo sistema de uso da terra e o tipo de vegetação sobre a dinâmica do carbono no solo, com a presença de um maior aporte de matéria orgânica em solos sob ecossistema natural.

Jesus (2017) estudando sobre estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco, observou que as vegetações nativas que não sofreram ação antrópica, possuíam maiores capacidades de estocar carbono e nitrogênio no solo, em comparação às vegetações nativas que sofreram ação antrópica, as pastagens e áreas agrícolas. Verificando também, que houve grandes reduções nos estoques

de carbono do solo através da mudança de uso da terra, de vegetação nativa para agricultura ou pastagem.

Os dados de Oliveira & Cerri (2015) corroboram com as pesquisas acima, apontando que as regiões de mata nativa apresentam maiores estoques de carbono que regiões de pastagem. Porém, seus dados sugerem que a aplicação do manejo correto nas pastagens permite a manutenção dos teores de carbono, podendo ser semelhantes à vegetação nativa.

Cardoso et al. (2010), avaliando o impacto da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada, e os estoques de carbono e nitrogênio no solo, verificaram que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e a exposição da pastagem nativa ao pastejo contínuo promoveram redução nos estoques de carbono orgânico e carbono microbiano no solo, porém não alteraram os estoques de nitrogênio total no solo.

As intervenções antrópicas tem impacto direto nas reduções dos estoques de carbono e nitrogênio no solo. Os solos de ecossistemas naturais que menos sofrem com a ação humana, apresentam menores modificações na dinâmica do carbono e do nitrogênio no solo, conservando a matéria orgânica que é a principal fonte de acúmulo desses nutrientes. A mudança do uso do solo mesmo que em ambientes bem manejados, culmina na diminuição da fertilidade dos solos, redução da matéria orgânica do solo e intensificação do processo de erosão.

## **2.2- Teores e estoques de Carbono e Nitrogênio em Latossolos**

Os Latossolos são os solos mais predominantes no Nordeste brasileiro, representando cerca de 29,5% da região (EMBRAPA, 2014). Na Paraíba, Latossolos chegam a possuir uma área de 548,15 km<sup>2</sup> (Medeiros, 2018). São solos em avançado estágio de intemperização, com minerais primários ou secundários resistentes ao intemperismo, homogêneos com a profundidade, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas. Geralmente profundos, bem drenados, fortemente ácidos e com baixa capacidade de troca de cátions, são pouco férteis, com textura média ou mais fina. A fração argila dos Latossolos é rica em minerais de carga variável, principalmente a caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e de alumínio (gibbsita) (EMBRAPA, 2013).

Os teores e estoques de carbono e nitrogênio estão intimamente associados com a presença de matéria orgânica no solo. Solos de regiões tropicais intemperizados como os Latossolos, podem apresentar menores teores de matéria orgânica em comparação a outros



tipos de solos, ocasionado por condições edafoclimáticas e agravadas mediante as condições do solo. Entretanto, o potencial de acúmulo de matéria orgânica no solo é relativo e depende de vários fatores.

Podem ocorrer diferenças nos teores de matéria orgânica de um Latossolo para outro, relacionados ao ambiente, tipo de sistema radicular, manejo e outros fatores. Latossolos em ambientes como ecossistemas naturais, a deposição de folhas, galhos, troncos, raízes e a biodiversidade, enriquece a matéria orgânica na superfície do solo demonstrando maiores teores e estoques de carbono e nitrogênio nessas camadas superficiais. As raízes das plantas em ecossistemas naturais no geral tem sistema radicular pivotante que agregam menos matéria orgânica em profundidade quando comparado ao sistema radicular fasciculado, apesar disso a diversidade e numerosas árvores acabam fornecendo considerável quantidade de matéria orgânica em profundidade.

Vendruscolo et al. (2011) estudando em cidades da Paraíba as propriedades físicas de um Latossolo comparados a outros tipos de solos, observou que o Latossolo Amarelo apresentou cerca de 95,5% de estabilidade de agregados, justificado pelo aporte de matéria orgânica oriunda de uma mata nativa.

Latossolos em ambientes como pastagens, apresentam menores quantidades de plantas arbóreas e reduzidas formas de incorporar a matéria orgânica por deposição, porém em ambientes como este se desenvolve gramíneas que apresentam sistema radicular fasciculado que agregam grande quantidade de matéria orgânica em profundidade, apresentando maiores teores e estoques de carbono e nitrogênio em camadas profundas. Rumpel & Kögel-Knabner (2011) enfatizam que as principais fontes de matéria orgânica em profundidade advêm da biomassa radicular das plantas, dos exsudados radiculares, da matéria orgânica dissolvida, da matéria orgânica particulada ou associada às argilas.

A mineralogia e a textura dos Latossolos também influenciam na dinâmica da matéria orgânica. Os altos teores de argila nas camadas desse tipo de solo são determinantes para estabilização da matéria orgânica. A matéria orgânica em camadas profundas provoca um processo de armazenamento de componentes orgânicos recalcitrantes pela formação de agregados, exercendo impacto direto no aumento dos teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo.

Segundo Nascente et al. (2015) trabalhando com agregação de partículas do solo, concentração de carbono orgânico e densidade do solo em Latossolo Vermelho distrófico, a agregação do solo facilitou o aumento dos estoques de carbono no solo.

A textura do solo está intimamente associada aos estoques de carbono do solo, as texturas média ou mais fina (argilosa, muito argilosa) dos Latossolos facilitam a agregação

do solo e servem como proteção na decomposição da matéria orgânica. Nair et al. (2011) estudando o sistema silvipastoril no Cerrado, concluíram que os estoques de carbono se correlacionam com a fração mais fina (argila ou silte). Zinn et al. (2012) examinando a modelagem em profundidade de perfis de carbono orgânico do solo, também relacionaram os teores de carbono aos teores de argila, em duas regiões de Minas Gerais, entre as profundidades de 20 e 200 cm.

Ferreira et al. (2011), examinando a resistência de agregados em função do carbono orgânico, em dois solos (Latosolo Vermelho distrófico típico) com classes texturais diferentes (média e argilosa) chegaram as mesmas conclusões, indicando que os teores de argila possuem relação com o aumento do carbono orgânico. Eles observaram valores diferentes de carbono, nas profundidades de 0-5 cm e 5-20 cm obtendo respectivamente, 17,4 g kg<sup>-1</sup> e 10,7 g kg<sup>-1</sup> para o Latossolo Vermelho de textura média, e 22,8 g kg<sup>-1</sup> e 17,0 g kg<sup>-1</sup> para os Latossolo Vermelho de textura argilosa.

Para Bruun et al. (2010), a predominância de minerais de carga variável, como a caulinita e os oxihidróxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al) no Latossolo, auxiliam na proteção da matéria orgânica, que depende mais do tipo de argila e dos teores de oxihidróxidos de Fe e de Al do que a quantidade de argila. O estudo de Saiz et al. (2012) sobre a variação nos estoques de carbono no solo em um gradiente de precipitação no oeste da África, ressalta a importância do solo possuir teores de oxihidróxidos de Fe e de Al quando indicou que os estoques de carbono foram mais determinantes nos teores de areia do que nos teores de argila.

Outro fator predominante para os teores e estoques de carbono e nitrogênio é a boa drenagem do solo, característica presente em Latossolos. Em locais de boa drenagem e baixa declividade, as taxas de acúmulo e o grau de humificação da matéria orgânica são maiores. Cidin (2016) pesquisando o estoque de carbono em solos brasileiros e o potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa em até 30 cm do solo, observou que Latossolos tem a capacidade média de estocar cerca de 53,2 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. Esses valores estocados são significativos quando consideramos a alta representatividade que os Latossolos têm no Brasil e a característica de solos profundos, apresentando potencial em acumular estoques de carbono e nitrogênio em profundidade.

### **2.3- Distribuição vertical de Carbono e Nitrogênio em Latossolos**

Os estudos nos teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo são mais voltados para as camadas superficiais do solo, no entanto, a quantificação apenas nessas camadas não

reproduz uma amostra representativa desses nutrientes. Jandl et al. (2014) relata que em relação ao armazenamento do carbono no solo, é necessário verificar a profundidade da amostragem. Algumas classes de solos apresentam acumulação de carbono em profundidade, quando se deseja quantificar a reserva total de carbono, toda a profundidade do perfil do solo deveria ser amostrada.

Pesquisadores chamam a atenção na necessidade de padronizar procedimentos para a quantificação de carbono e nitrogênio no solo. Olson et al. (2014) explicam que deveria se ter uma metodologia padronizada que inclua projeto experimental adequado, consideração da profundidade do solo e método consistente de análise que deva ser usada ao determinar o estoque desses nutrientes no solo. A distribuição vertical de carbono e nitrogênio em solos profundos como Latossolos, se torna essencial quando se trata em estimar esses nutrientes, havendo uma contribuição na contabilização do carbono e do nitrogênio armazenados em profundidade onde estão em quantidades significativas.

A distribuição de carbono e nitrogênio no solo varia de acordo com o tipo de solo e o tipo de manejo empregado, mas em geral, nas camadas superficiais do solo se encontram maiores estoques desses nutrientes, ocorrendo um decréscimo com o aumento da profundidade. Ojeda et al. (2018) estudando a distribuição vertical de estoques de carbono no solo em sistemas de cultivo forrageiro observou a diminuição de carbono com o aumento da profundidade do solo. Corroborando com isso, Marques et al., (2013) relatou a mesma diminuição, atribuindo esse resultado ao acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo.

Ambientes que sofreram com atividades antrópicas ou tiveram um manejo incorreto tem maiores alterações na superfície do solo, interferindo na dinâmica do carbono, causando impactos no carbono orgânico particulado que funciona como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo. Saldarriaga (2016) avaliando os estoques de carbono em diferentes sistemas de uso da terra até 100 cm de profundidade relata valores superiores de estoque de carbono orgânico particulado na mata nativa em comparação as pastagens estudadas. Examinando atributos químicos e frações da matéria orgânica em Latossolo sob diferentes sistemas de uso, Ensinas (2012) encontrou dados semelhantes, com maiores teores de estoque de carbono particulado para mata nativa do que a pastagem.

Oliveira (2018) chega às mesmas conclusões pesquisando sobre os estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica do solo sob sistemas silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental, encontrando dados que indicam maiores teores de estoque de carbono orgânico particulado no ambiente de mata nativa do que no de pastagem dregadada.

O carbono orgânico associado aos minerais é menos impactado pelo manejo do solo em curto prazo de tempo, sendo conservado através de agentes complexantes, podendo se estabilizar em camadas superficiais, mas principalmente nas camadas profundas do solo devido à proteção coloidal através da formação de complexos organominerais associados às partículas mais finas, silte e argila (Santos et al., 2012; Carmo et al., 2012).

A proteção coloidal e os complexos organominerais são responsáveis pelo carbono e nitrogênio orgânico nos macro e microagregados do solo, que se não perturbados, permanecem no solo por séculos. Quantidades substanciais de carbono permanecem em profundidade mesmo após vários anos. Fontaine et al. (2007) relata em uma pastagem de terras altas na França que o tempo de estância do carbono aumenta com a profundidade, atingindo de 2000 a 10000 anos em camadas profundas do solo.

O carbono e o nitrogênio podem ser estabilizados em profundidade dependendo da composição da fase mineral do solo e da estrutura química dos resíduos adicionados. A matéria orgânica armazenada em profundidade é mais recalcitrante e por isso é necessário estudos que quantifiquem esses teores e estoques, porém cada classe de solo tem potencial diferente na proteção da matéria orgânica.

Santos et al. (2017) examinando até 100 cm a dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus, encontraram que os dados de carbono orgânico associado aos minerais não diferiram entre os ambientes nativos e pastagem em diferentes profundidades.

Saldarriaga (2016) também avaliou o carbono orgânico associado aos minerais do solo em diferentes sistemas de uso da terra até 100 cm de profundidade, encontrando valores divergentes dos de Santos et al. (2017), onde os estoques de carbono orgânico associado aos minerais da mata nativa estudada foram superiores ao das pastagens do experimento.

#### **2.4- Efeito do manejo nas Pastagens e da conservação dos Ecossistemas Naturais nos teores de Carbono e Nitrogênio nos solos**

O total de reservas de carbono no solo para toda a área terrestre do mundo, excluindo o carbono contido na camada de areia e no carvão vegetal, é de 2157 - 2293 Pg C até os 100 cm de solo. As quantidades globais de nitrogênio no solo são estimadas em 133-140 Pg N até os 100 cm (Batjes, 2014). Considerando as mudanças nas políticas públicas de alguns países em torno da conservação ambiental e do aquecimento global, esses compartimentos estão cada vez mais ameaçados.

As intervenções humanas nos ecossistemas naturais para a implantação de pastagem e atividades agrícolas aliados ao manejo incorreto diminuem o estoque de carbono e nitrogênio no solo. O solo depende de relações complexas no seu sistema, e fatores como, degradação da vegetação, fogo, erosão, falta de nutrientes e deficits de água podem levar a uma rápida perda desses nutrientes (Lal, 2015).

A conversão de ecossistemas naturais em pastagens reduz consideravelmente os teores de carbono e nitrogênio no solo. Porém, tendo ocorrido à implantação da pastagem, podemos reduzir esse impacto aplicando um manejo correto, diminuindo a perda desses nutrientes para atmosfera e direcionando a agropecuária a procurar uma maior eficiência com produtividade, utilizando menores áreas, minimizando os efeitos sobre o ambiente e restaurando as pastagens degradadas.

A degradação das pastagens reduz a produtividade, promovendo erosão do solo e perda de matéria orgânica, diminuindo o acúmulo de carbono e nitrogênio no solo. Um dos principais causadores é o pastejo intensivo e o manejo incorreto através de práticas convencionais que agredem o solo. Dias-Filho (2011) diz que o pastejo excessivo pode levar a degradação, podendo reduzir a taxa de absorção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água e nutrientes pelas gramíneas, reduzindo a cobertura desse solo. Além desses causadores, a competição com plantas invasoras constitui em fator importante no processo da degradação e o pastejo excessivo acelera o aparecimento de espécies daninhas.

O manejo correto deve ser regra quando se implementa uma pastagem. Chaves et al. (2013) pesquisando o estoque de carbono no solo em pastagem convencional e sistema agrossilvipastoril observaram que o estoque de carbono do solo no ambiente de vegetação nativa foi de 45,13 Mg/ha, e reduziu 12 Mg/ha depois de convertida em pastagem mal manejada. Após o emprego de manejo correto da pastagem, o estoque de carbono atingiu 41,72 Mg/ha.

Conant et al., (2017) estudando os impactos do manejo de pastagens nos estoques de carbono do solo, observaram que o manejo melhorado do pasto, fertilização, semeadura de leguminosas, melhoramento das gramíneas, irrigação e conversão do cultivo, tendem a conservar e até aumentar o carbono do solo, com taxas que variam de 0,105 à mais de 1 Mg de C  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ .

Oliveira & Cerri (2015) entendem que a aplicação do manejo correto nas pastagens permite a manutenção dos teores de carbono, podendo ser até semelhantes à vegetação nativa. O uso de sistemas de manejo por determinado período de tempo estimulam um efeito positivo nas pastagens, gerando maior estabilidade dos agregados por meio do sistema

radicular das gramíneas, liberando constantemente exsudados que promovem maior atividade dos microrganismos e funcionam como agente agregador das partículas do solo.

Apesar da possibilidade de menor impacto da conversão de um ecossistema natural em pastagem através de um manejo correto, colocando na balança, nota-se que essa conversão não seria coerente, pois implicaria na perda da biodiversidade e recursos naturais. Em ambientes que já sofreram a conversão em pastagem e estão degradados, é indispensável a sua recuperação para que possam atuar na diminuição do impacto negativo sobre os estoques de carbono e nitrogênio.

Na conservação dos ecossistemas naturais os teores de carbono e nitrogênio no solo se encontram em equilíbrio dinâmico. Nesses ambientes se tem a preservação da matéria orgânica, um aporte constante de biomassa e a vegetação promovendo um acúmulo de carbono nos horizontes mais profundos do solo. Silva et al. (2018) estudando o estoque de biomassa e carbono em unidade de conservação no bioma Mata Atlântica, verificaram a importância em manter a diversidade e conservar as florestas, apresentando um estoque de biomassa e carbono de 212,39 e 106,19 t. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse estudo chegou à conclusão que os ecossistemas naturais desempenham um importante papel nos teores de carbono, e por consequência do nitrogênio.

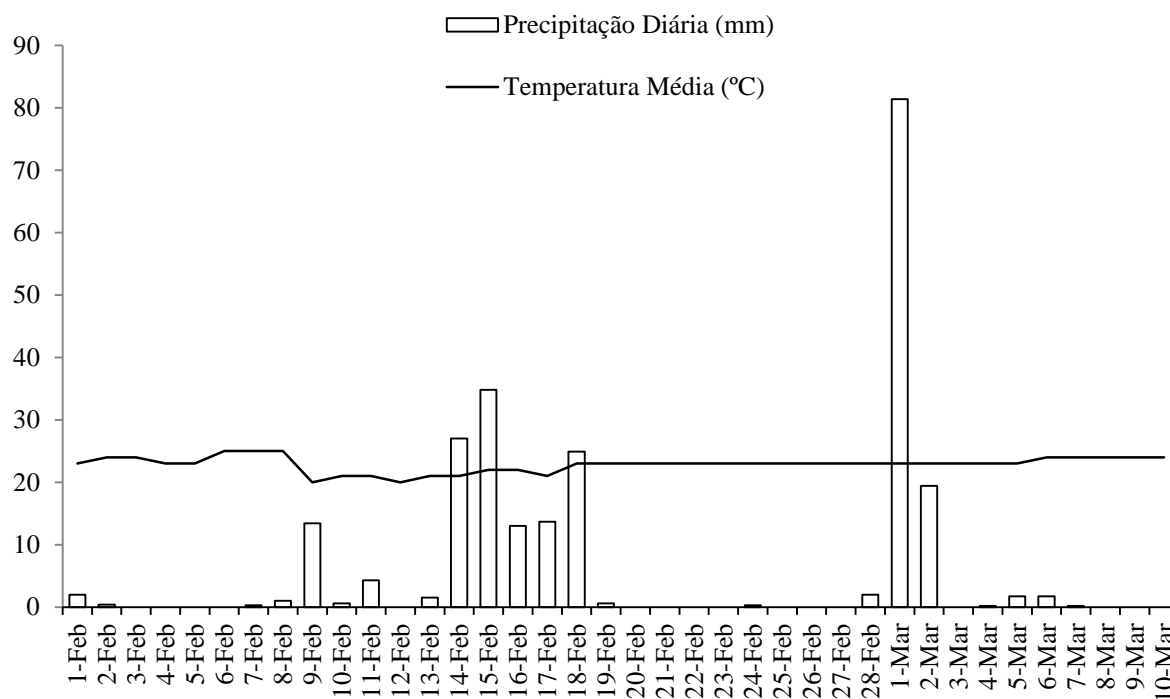
Ferreira et al. (2016) estudando a estimativa da capacidade de estoque de biomassa e carbono e sua importância para a conservação de fragmentos florestais chega a mesma conclusão, observando que a biomassa seca estocada foi estimada em 186,69 t ha<sup>-1</sup> e o carbono em 89,6 t ha<sup>-1</sup>, esses resultados demonstram significativos teores de estoque de carbono e corroboram com a necessidade de conservação dos ecossistemas naturais.

Impactos nos ecossistemas naturais também reduzem os estoques de nitrogênio, a tendência é que esse estoque seja menor em ambientes com manejo convencional. Amazonas (2010) pesquisando sobre a ciclagem do nitrogênio formada por florestas restauradas e floresta natural relata que as florestas restauradas mesmo com 52 anos não restauraram a ciclagem de nitrogênio característico da floresta natural. A mínima ação antrópica nos ecossistemas naturais acaba fazendo com que a ciclagem de carbono e nitrogênio se altere, impactando o estoque desses nutrientes no solo.

### 3- MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1- Localização e caracterização dos ambientes de estudo

O experimento foi conduzido no período de Fevereiro a Maio de 2018 em ambiente de pastagem e ecossistema natural localizadas no município de Areia-Paraíba, Brasil. De acordo com a classificação bioclimática de Gaussem, o bioclima predominante nos ambientes é o 3dth nordestino sub-seco, com precipitação pluviométrica média anual em torno de 1.500 mm e umidade relativa em torno de 85%. O relevo varia de ondulado a fortemente ondulado com altitude entre 400 m e 600 m. A temperatura média anual oscila entre 23 a 24°C.



**Figura 1.** Climatográfico dos meses de coleta com precipitação diária (mm) e temperatura média (°C).

Foram selecionados dois locais com características similares para as coletas das amostras. No primeiro local, foram coletadas amostras de solo em dois ambientes de pastagem e um ambiente de ecossistema natural. Já no segundo local, foram selecionados um ambiente de pastagem e um ambiente de ecossistema natural. Para melhor comparação dos dados, ambos os ecossistemas naturais foram localizados de forma adjacente as pastagens. Em todos os ambientes de coleta o solo foi classificado como Latossolo. Os

pontos de coleta das amostras foram definidos de forma aleatória e sistemática, procurando apenas pontos que representassem os ambientes avaliados.

Nos pontos de coleta foram abertas trincheiras de  $1 \times 1 \times 1$  m onde foram coletadas amostras do perfil nas seguintes camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. As amostras de solos foram coletadas para caracterização dos ambientes em estudo, onde foram analisados aspectos físicos (Tabela 1) e químicos do solo, respectivamente, pelo Laboratório de Física do Solo e pelo Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, no Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

### **3.2- Histórico dos ambientes**

Ecossistema Natural 1 (EN1): encontra-se na latitude  $-6^{\circ} 56' 05''$  e longitude  $-35^{\circ} 43' 24''$ . As amostras do solo nesse ambiente foram coletadas dia 8 de Fevereiro, com precipitação diária de 1 mm e temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  (Figura 1).

O EN1 é o ambiente de referência para a Pastagem 1 (P1) e Pastagem 2 (P2). Esse ambiente há aproximadamente 60 anos sofreu um grande desmatamento para implementação de culturas agrícolas e pastagem, atualmente apresenta apenas alguns resquícios de Floresta Atlântica. Manifesta fisionomia herbáceo-arbustiva-arbórea com início de uma heterogeneidade, apresentando uma formação de vegetação com uma regeneração natural em estágio sucessional inicial e médio.

Observamos também a presença de formigas, minhocas e ninhos de cupins no ambiente. Esse ecossistema natural demonstra ainda sofrer alguns impactos antrópicos, os moradores locais tem acesso irrestrito a esse ambiente, sendo localizados pequenos clarões e trilhas.

Ecossistema Natural 2 (EN2): encontra-se na latitude  $-6^{\circ} 58' 56''$  e longitude  $-35^{\circ} 44' 38''$ . As amostras do solo nesse ambiente foram coletadas dia 8 de Março, com precipitação diária de 0 mm e temperatura de  $24^{\circ}\text{C}$  (Figura 1).

O EN2 é o ambiente de referência para a Pastagem (P3). Esse ambiente pertence a uma unidade de conservação, o parque estadual Mata do Pau-Ferro, que apresenta remanescentes florestais de Floresta Atlântica. Há pelo menos 50 anos sofreu desmatamentos para implementação de culturas agrícolas e pastagem. Manifesta fisionomia herbáceo-arbustiva-arbórea com cobertura fechada, apresentando árvores de diferentes alturas e espécies diversas, com formação de vegetação nos estágios sucessionais inicial, médio e avançado.



Foi constatado a presença de formigas, minhocas, cupins, besouros e sapos no ambiente. Esse ecossistema natural demonstra ainda sofrer impactos antrópicos, sendo encontradas trilhas e pequenos clarões. Os moradores locais tem acesso irrestrito a esse ecossistema sem que haja fiscalização.

Pastagem 1 (P1): encontra-se na latitude  $-6^{\circ} 56' 08''$  e longitude  $-35^{\circ} 43' 24''$ . As amostras do solo nesse ambiente foram coletadas dia 6 de Fevereiro, com precipitação diária de 0 mm e temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  (Figura 1).

Esse ambiente está localizado na Fazenda Patrício, de 30 a 40 anos de implantação em pastagem plantada. Antigamente o solo dessa região era utilizado para plantação de cana-de-açúcar, atualmente é utilizado para pastejo de gado. Essa pastagem não possui manejo adequado (sem calagem ou correção do solo, presença de ninhos de formiga e cupim). A única forma de manejo utilizado é um rodízio no pastejo que eles realizam há 10 anos. Atualmente executam o rodízio do pasto a cada 40 dias, com o pastejo de 67 cabeças de gado. O ambiente apresenta gramíneas da espécie *Brachiaria decumbens*, com crescimento normal e ausência de plantas invasoras.

Pastagem 2 (P2): encontra-se na latitude  $-6^{\circ} 56' 11''$  e longitude  $-35^{\circ} 43' 25''$ . As amostras do solo nesse ambiente foram coletadas dia 26 de Fevereiro, com precipitação diária de 0 mm e temperatura de  $23^{\circ}\text{C}$  (Figura 1).

Esse ambiente está localizado na Fazenda Patrício, de 30 a 40 anos de implantação em pastagem plantada. Antigamente o solo dessa região era utilizado para plantação de cana-de-açúcar, atualmente é utilizado para pastejo de gado. Essa pastagem não possui manejo adequado (sem calagem ou correção do solo e presença de ninhos de formiga e cupim). A única forma de manejo utilizado é um rodízio no pastejo que eles realizam há 10 anos. Atualmente executam o rodízio do pasto a cada 40 dias, com o pastejo de 67 cabeças de gado. O ambiente apresenta gramíneas da espécie *Brachiaria brizantha*, com crescimento normal e ausência de plantas invasoras.

Pastagem 3 (P3): encontra-se na latitude  $-6^{\circ} 58' 58''$  e longitude  $-35^{\circ} 44' 38''$ . As amostras do solo nesse ambiente foram coletadas dia 5 de Março, com precipitação diária de 1,7 mm e temperatura de  $23^{\circ}\text{C}$  (Figura 1).

Esse ambiente faz parte do parque estadual Mata do Pau-Ferro e está abandonado. Não foi possível descobrir quando foi implantada essa pastagem, mas podemos estimar mais de 30 anos. Atualmente, podemos considera-la como pastagem nativa, onde cresceu uma vegetação após a destruição da vegetação original. O ambiente é utilizado para pastejo do gado de vários moradores da região, o gado pasteja aleatoriamente e livremente sem que haja nenhum controle. Não existe qualquer tipo de manejo nessa pastagem. Foi constatada a

presença de plantas invasoras da espécie *Cenchrus echinatus*, *Borreria verticillata* e *Rhynchospora nervosa*. As gramíneas do local apresentam crescimento irregular.

### 3.3- Textura do Solo

A mineralogia e a textura dos solos possuem um papel importante nos processos físicos, químicos e biológicos, interferindo na dinâmica da matéria orgânica e consequentemente na retenção de carbono e nitrogênio no solo. A proporção de areia, silte e argila indica a classe textural do solo, interferindo no potencial do solo em estocar nutrientes.

A fração mais fina (argila e silte) nas camadas do solo pode influenciar diretamente a dinâmica da matéria orgânica, por ser determinante em sua estabilização. A matéria orgânica promove um processo de armazenamento de componentes orgânicos recalcitrantes pela formação de agregados, exercendo impacto direto nos estoques de carbono e nitrogênio no solo.

A ação biológica pode facilitar a formação de agregados e migração de partículas finas em profundidade através de uma bioturbação no solo. As principais fontes de matéria orgânica do solo no subsolo advêm da biomassa radicular das plantas, dos exsudados radiculares, da matéria orgânica dissolvida, da matéria orgânica particulada ou associada às argilas, transportada biologicamente ou fisicamente.

Nos ambientes estudados, as primeiras camadas de profundidade apresentaram valores de areia superiores aos de silte e argila (Tabela 1). No EN1 esse valor de areia foi superior até os 30 cm de solo, no EN2 até os 40 cm de solo, na P1 até os 60 cm de solo, na P2 até os 30 cm de solo e na P3 até os 30 cm de solo.

Os teores de silte variaram muito entre as profundidades, sem obedecer a uma regra de aumento ou redução com a profundidade.

Os valores de argila cresceram em função do aumento da profundidade, ocasionado supostamente pela translocação de partículas nos perfis ou por uma possível bioturbação.

**Tabela 1.** Granulometria, textura e classificação nos perfis de solo (0-100 cm).

Ambientes	Profundidade cm	Areia -----g kg <sup>-1</sup> -----	Silte	Argila	Textura	Classificação do Solo
EN1	0 - 10	631	28	341	Franco Argilo Arenosa	Latossolo
	10 - 20	562	40	398	Argilo Arenosa	
	20 - 30	511	41	448	Argilo Arenosa	
	30 - 40	435	40	525	Argila	
	40 - 60	454	27	519	Argilo Arenosa	
	60 - 80	448	64	488	Argila	
	80 - 100	394	26	580	Argila	
EN2	0 - 10	683	43	274	Franco Argilo Arenosa	Latossolo
	10 - 20	695	64	241	Franco Argilo Arenosa	
	20 - 30	637	73	290	Franco Argilo Arenosa	
	30 - 40	608	56	336	Franco Argilo Arenosa	
	40 - 60	419	27	554	Argila	
	60 - 80	381	13	605	Muita Argila	
	80 - 100	409	39	552	Argila	
P1	0 - 10	549	93	358	Argilo arenosa	Latossolo
	10 - 20	541	121	338	Franco Argilo Arenosa	
	20 - 30	544	80	376	Argilo Arenosa	
	30 - 40	521	76	403	Argilo Arenosa	
	40 - 60	505	63	431	Argilo Arenosa	
	60 - 80	436	51	513	Argila	
	80 - 100	446	25	529	Argilo Arenosa	
P2	0 - 10	582	56	362	Argilo Arenosa	Latossolo
	10 - 20	494	84	422	Argilo Arenosa	
	20 - 30	480	55	465	Argilo Arenosa	
	30 - 40	460	66	475	Argila	
	40 - 60	447	53	500	Argila	
	60 - 80	422	39	539	Argila	
	80 - 100	444	39	517	Argila	
P3	0 - 10	730	95	175	Franco Arenosa	Latossolo
	10 - 20	635	68	297	Franco Argilo Arenosa	
	20 - 30	542	92	366	Argilo Arenosa	
	30 - 40	435	26	539	Argila	
	40 - 60	373	27	600	Argila	
	60 - 80	377	27	596	Argila	
	80 - 100	383	39	578	Argila	

### 3.4- Amostragem de solo

As amostragens de solos foram coletadas entre Fevereiro e Março e realizadas em trincheira aberta, seguindo as camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100

cm, de acordo com o guia metodológico para o desenvolvimento de atividades de campo e laboratório do projeto CNPq (Jesus et al., 2016).

As amostragens de solo foram de dois tipos, amostras indeformadas e amostras de solo representativas de cada camada (deformada) como descrito por Jesus et al. (2016). Antes da abertura da trincheira, foi feita a limpeza dos locais onde as amostras de solo foram coletadas. Após a coleta, foi determinada a densidade do solo de cada camada amostrada, utilizando-se o método do anel volumétrico descrito em EMBRAPA (1997). Em cada camada foi coletada três amostras indeformadas.

Em cada ponto amostral, depois de peneiradas, foram coletadas amostras do perfil do solo em torno de 1 kg de cada camada, que foram condicionadas em saco plástico, etiquetadas e encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo.

### **3.5- Análises de amostras de solo**

As análises das amostras de solos teve início a partir da preparação das amostras de solo deformadas (secagem, moagem, tamisação, acondicionamento e armazenamento). Inicialmente após as amostras chegarem ao laboratório, os torrões maiores foram quebrados manualmente e, em seguida, feito o revolvimento da amostra para acelerar a secagem. O tempo de secagem variou de acordo com a amostra.

As amostras após secas apresentaram torrões, e foi utilizado o almofariz com pistilo de porcelana para uma perfeita moagem, tomando cuidado para não moer cascalhos e calhaus. Após a moagem, a amostra foi passada em peneira com malha de 2 mm. Após o material ser passado pela peneira foi colocado em sacos plásticos onde foi feita uma homogeneização manual, identificados e posteriormente ficaram prontos para serem analisados (EMBRAPA, 1997).

Para as preparações das amostras indeformadas de solo, foram pesadas 10 g e transferidos para os recipientes (pesa filtro), previamente tarado, em seguida levados para a estufa a 60 °C até manter peso constante. Depois de retiradas da estufa os recipientes ficaram resfriando e em seguida foram pesadas em balança analítica de precisão (4 casas decimais) para obtenção da massa seca de solo (EMBRAPA, 1997).

### **3.6- Análise dos estoques totais**

Os estoques totais de carbono orgânico total (COT) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) para cada profundidade amostrada foram calculados utilizando-se o método da camada equivalente, como descrito

por Bayer et al. (2000). Desta maneira, os estoques totais de COT foram calculados pela seguinte equação:

$$\text{Estoque COT (Mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Ds} * \text{h} * \text{COT}}{10}$$

Onde, Ds é a densidade do solo, expresso em g cm<sup>-3</sup>; h é a espessura da camada amostrada, expresso em cm; COT é o teor de carbono orgânico total, expresso em g kg<sup>-1</sup>.

Os estoques totais de nitrogênio total (NT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM) (Mg ha<sup>-1</sup>) para cada camada amostrada foram também calculados utilizando-se a equação citada acima. Os totais de COT, NT, COP e COM foram calculados pela adição dos estoques das camadas de solo amostradas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

### 3.7- Análises Físico-Químicas

Foram analisadas entre Abril e Maio. Constaram as análises de granulometria (areia, silte e argila), densidade do solo, fracionamento físico da matéria orgânica do solo e determinação dos teores de carbono e nitrogênio nas diferentes profundidades do solo.

#### 3.7.1- Determinação da Fração Granulométrica do Solo

Foi determinada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) (EMBRAPA, 2011), usando hidróxido de sódio (NaOH-mol L<sup>-1</sup>) como agente dispersante mais agitação mecânica. Para a determinação da argila dispersa em água foi utilizado o mesmo procedimento da determinação da argila total, porém, sem o uso do dispersante químico. Para a determinação das frações granulométricas seguirá a expressão:

$$\text{Teor de argila} = [\text{argila (g)} + \text{dispersante (g)}] - \text{dispersante (g)} \times 1.000$$

$$\text{Teor de areia fina} = \text{areia fina (g)} \times 50$$

$$\text{Teor de areia grossa} = [\text{areia fina (g)} + \text{areia grossa (g)}] - \text{areia fina} \times 50$$

$$\text{Teor de silte} = 1.000 - [\text{argila (g)} + \text{areia fina (g)} + \text{areia grossa (g)}]$$

### 3.7.2- Densidade do Solo

Para a determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) calculando a massa do solo e o volume do anel volumétrico. Posteriormente, foi utilizada a seguinte expressão:

$$D = m/v$$

Onde, D é a densidade do solo, expresso em  $\text{g.cm}^{-3}$ ; m é a massa do solo, expresso em g; e v é o volume do anel volumétrico, expresso em  $\text{cm}^3$ .

### 3.7.3- Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo

O fracionamento físico da matéria orgânica foi determinado pela metodologia baseada em Cambardella & Elliot, (1992). Foram adicionados 15 g de solo de cada amostra em triplicata nos tubos falcon, acrescentado 45 ml da solução de Hexametáfosfato de Sódio  $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{40}$ . Em seguida, colocamos as amostras em agitador horizontal (150 oscilação por minuto) por 16 horas.

A suspensão foi lavada com jato de água em peneira (53  $\mu\text{m}$ ), onde a fração retida na peneira correspondeu a matéria orgânica particulada (MOP). A MOP foi seca em estufa a 60 °C durante 24 horas, depois macerado em gral de porcelana, quantificado em relação a sua massa e analisado o seu teor de carbono (C), conforme os procedimentos analíticos para a determinação do COT. Os valores de carbono encontrados nas amostras correspondem ao teor de carbono na fração particulada da matéria orgânica do solo (COP). O carbono orgânico associado aos minerais (COM) foi fornecido pela expressão:

$$\text{COM} = \text{COT} - \text{COP}$$

Onde, COM = Carbono orgânico associado aos minerais (%); COT = Carbono orgânico total do solo (%); COP = Carbono orgânico particulado (%).

### 3.7.4- Determinação do Carbono Orgânico Total

O carbono orgânico total foi determinado pela metodologia baseada em Yeomans & Bremner, (1988). As amostras de solo seco ao ar passadas em peneiras de 2 mm foram maceradas e peneiradas novamente, desta vez em peneira de 100 mesh. Para análise de carbono foram preparadas amostras em triplicata para cada profundidade. Foram pesadas 0,3 g de solo que foram transferidos para tubos de digestão. Foram adicionados depois 5 ml de

dicromato de potássio  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,167 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 ml de ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a. concentrado em cada tubo de digestão. Os tubos foram colocados em placa digestora por 30 minutos a  $170^\circ\text{C}$ . Depois de retirados da placa, os tubos permaneceram 20 minutos resfriando.

Após esse período, transferimos, quantitativamente, o conteúdo de cada tubo para os respectivos erlenmeyers e adicionamos 10 ml de ácido fosfórico concentrado  $\text{H}_3\text{PO}_4$  p.a. e usamos água destilada para elevar o volume para 50 ml. Adicionamos cerca de 0,3 ml (3 a 4 gotas) do indicador difenilamina no erlenmeyer. Depois de aferimos a bureta, realizamos a titulação, anotando-se o valor de sulfato ferroso  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ . Os teores de carbono orgânico total foram calculados pela seguinte expressão:

$$\text{C - total (\%)} = \frac{(\text{A}) \times (\text{Molaridad e do SFA}) \times (0,003) \times (100)}{\text{Peso da Amostra (g)}}$$

Onde:

$$\text{A} = \frac{(\text{BA} - \text{S}) \times (\text{BNA} - \text{BA})}{\text{BNA}} + (\text{BA} - \text{S})$$

A = Fator de correção; Molaridade do SFA = Molaridade do sulfato ferroso amoniacoal ( $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ ); BA = Média da leitura dos brancos aquecidos; S = Média da leitura das amostras (repetições analíticas); BNA = Média da leitura dos brancos sem aquecimento  $0,003 =$  Referente à razão  $[(0,001 \times 12)/4]$ , onde 0,001 é o fator para transformar em  $\text{g mmol}^{-1}$ ; 12 é o peso atômico do carbono e 4 é o número de elétrons transferidos no processo de oxidação  $[\text{C}(0) \rightarrow \text{C}(\text{IV})]$ ; 100 = Transformar o resultado para %.

### 3.7.5- Determinação do Nitrogênio Total

Para determinação do nitrogênio total foi utilizado a metodologia baseada em Bremner (1996). Foram pesados 0,1 g de solo de cada amostra em triplicata e transferido para os tubos de digestão, todos devidamente identificados. A cada tubo de digestão foi adicionado 1,1 g da mistura catalisadora. Depois adicionamos em cada tubo de digestão 3,0 ml de ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, levamos os tubos para o bloco digestor e iniciamos a digestão a  $50^\circ\text{C}$ . Assim que a temperatura estabilizou elevamos gradativamente para  $200^\circ\text{C}$ , estabilizando essa temperatura por 30 minutos. Em seguida, passamos a temperatura para  $350^\circ\text{C}$  e aguardamos até o extrato ficar com coloração verde-esbranquiçada. Deixamos o conteúdo esfriar e acrescentamos a cada tubo 20 ml de água destilada.

Identificamos os erlenmeyers com o número das amostras a serem analisadas e adicionamos a cada erlenmeyer 10 ml do indicador. Levamos para o destilador os tubos com

o conteúdo, e a medida que fomos destilar, era colocado 10 ml de hidróxido de sódio NaOH 13 mol L<sup>-1</sup>. A destilação era realizada até obter 50 mL de destilado no erlenmeyer. Após esse procedimento, titulamos com a solução ácido clorídrico HCl p.a. 0,07143 mol L<sup>-1</sup>. Em seguida se procede à amostragem em branco. Os teores de nitrogênio foram determinados pela expressão:

$$N \text{ total} = \text{Vol. Amostra} \times F$$

Onde, Vol. Amostra = ao volume gasto do titulante; F= fator de correção de HCl 0,07143 mol L<sup>-1</sup>.

### 3.8- Análise Estatística

Foi empregado o teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar se os dados de densidade, carbono orgânico total, estoque de carbono, nitrogênio total, estoque de nitrogênio, carbono orgânico particulado, estoque de carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, estoque de carbono orgânico associado aos minerais, que seguiam uma distribuição normal. Todos os dados foram transformados em raiz quadrada previamente às análises estatísticas e apresentados nas figuras e tabelas na sua escala normal.

Para avaliar as diferenças existentes entre os compartimentos de carbono e nitrogênio nos solos dos ambientes estudados (e.g., Pastagem e Ecossistema Natural) foi empregado o teste Bonferroni pareado. Para investigar as diferenças existentes entre as formas de C e N no solo nas camadas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) entre os ambientes (e.g., Pastagem e Ecossistema Natural) e a distribuição vertical de C e N em diferentes profundidades, foi empregada uma ANOVA two-way.

Os resultados foram apresentados em *box-plot* e gráficos de dispersão para melhor visualização da distribuição dos dados. Considerando a variabilidade existente entre os compartimentos de C e N nos ambientes e profundidades estudadas foi empregado a análise de componentes principais. Para a realização do teste de Bonferroni 5%, da ANOVA (two-way), dos box-plots e análise de componentes principais foram usados os pacotes “stats4”, “ggplot2” e “vegan” do software livre R studio.



## 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- Densidade do Solo

A densidade do solo (DS) é exibido na Tabela 2 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades.

Os ecossistemas naturais obtiveram menores de DS na camada de 0-10 cm comparadas às pastagens, o EN1 com  $1,12 \text{ g cm}^{-3}$  e o EN2 com  $1,06 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 2). Os menores valores de DS provem da adição de matéria orgânica nessa camada de profundidade, apresentando uma cobertura natural proveniente da deposição de folhas, galhos, casca de árvores e organismos em vários estágios de decomposição. A cobertura orgânica formada regula a fauna edáfica, a temperatura, mantendo a umidade do solo e ajudando na agregação das partículas. A matéria orgânica do solo é um dos fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo (Braida et al., 2011) auxiliando na redução da sua densidade.

Rigolin et al., (2013) estudando o estoque de carbono do solo até os 40 cm de profundidade em sistemas agrícolas com manejos como semeadura direta, área de eucalipto, pastagens e mata nativa, constataram que a densidade do solo está relacionada a adição de matéria orgânica e ao estoque de carbono. Os sistemas vegetais agrícolas dessa pesquisa apresentaram densidades do solo superiores aos da mata nativa.

**Tabela 2.** Média e desvio padrão da densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	$1,12 \pm 0,08 \text{ c}$	$1,06 \pm 0,07 \text{ c}$	$1,23 \pm 0,03 \text{ b}$	$1,29 \pm 0,03 \text{ b}$	$1,68 \pm 0,03 \text{ a}$
10 - 20	$1,15 \pm 0,04 \text{ cd}$	$1,30 \pm 0,01 \text{ b}$	$1,19 \pm 0,02 \text{ c}$	$1,10 \pm 0,02 \text{ d}$	$1,56 \pm 0,06 \text{ a}$
20 - 30	$1,24 \pm 0,01 \text{ d}$	$1,41 \pm 0,01 \text{ b}$	$1,31 \pm 0,01 \text{ c}$	$1,22 \pm 0,04 \text{ d}$	$1,59 \pm 0,03 \text{ a}$
30 - 40	$1,30 \pm 0,03 \text{ b}$	$1,48 \pm 0,01 \text{ a}$	$1,13 \pm 0,07 \text{ c}$	$1,10 \pm 0,01 \text{ c}$	$1,51 \pm 0,09 \text{ a}$
40 - 60	$1,11 \pm 0,03 \text{ d}$	$1,33 \pm 0,03 \text{ b}$	$1,23 \pm 0,11 \text{ bc}$	$1,22 \pm 0,02 \text{ c}$	$1,48 \pm 0,00 \text{ a}$
60 - 80	$1,23 \pm 0,03 \text{ d}$	$1,62 \pm 0,02 \text{ a}$	$1,22 \pm 0,01 \text{ d}$	$1,34 \pm 0,06 \text{ c}$	$1,42 \pm 0,01 \text{ b}$
80 - 100	$1,25 \pm 0,01 \text{ c}$	$1,51 \pm 0,01 \text{ a}$	$1,29 \pm 0,03 \text{ c}$	$1,43 \pm 0,08 \text{ ab}$	$1,47 \pm 0,00 \text{ b}$
Médias	1,20	1,39	1,23	1,24	1,53

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

As pastagens obtiveram DS maiores em comparação aos ecossistemas naturais na camada de 0-10 cm (Tabela 2). A P1 obteve  $1,23 \text{ g cm}^{-3}$ , a P2  $1,29 \text{ g cm}^{-3}$  e a P3  $1,68 \text{ g cm}^{-3}$ . A redução da adição de resíduos vegetais após a conversão em pastagem ou o pastejo de animais herbívoros nesses ambientes provavelmente são os responsáveis pela elevação das densidades do solo.

Entretanto na P1 e P2, os rodízios de pastejo de 40 dias minimizaram o impacto do pisoteio do gado, e a presença da braquiária por meio de suas raízes fasciculadas agregaram as partículas do solo e minimizaram o impacto da redução da deposição dos resíduos orgânicos, fazendo com que as DS desses ambientes não se elevassem como na P3. A braquiária apresenta influência nos valores de densidade do solo através do seu sistema radicular bem desenvolvido que auxilia no aporte de matéria orgânica, exercendo agregação e aumento da porosidade do solo.

Na P3 onde não se tem o controle do pastejo dos animais há um crescimento irregular das gramíneas, com presença de plantas invasoras no local. Nesse ambiente se destaca a maior média de DS. Além disso, observamos que de 0 até 40 cm de profundidade (Tabela 2) existem densidades elevadas que vão de  $1,68 \text{ g cm}^{-3}$  até  $1,51 \text{ g cm}^{-3}$ , presumidamente essa pastagem pode estar com o solo compactado nos primeiros centímetros.

Conforme a profundidade das camadas foi aumentando a DS aumentou. Com exceção da P3, onde observamos uma redução da densidade à medida que as camadas do solo ficam mais profundas.

As DS entre os ecossistemas naturais apresentaram diferenças, o EN1 demonstrou estabilidade entre os agregados nas camadas profundas, em contraste ao EN2. Na DS do EN2 o aumento com a profundidade, foi de  $1,06 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1,62 \text{ g cm}^{-3}$ , essa elevação de densidade pode está associada às formas de agregação das partículas do solo e a redução dos teores de matéria orgânica principalmente nas camadas mais profundas. Outra explicação seria a que, o EN2 apresenta árvores com grandes raízes que podem ter empurrado as partículas do solo para forçar sua passagem elevando as densidades do solo em subsuperfície.

A redução da densidade em profundidade na P3 corrobora com a suposição de compactação desse ambiente. A P3 por ser uma pastagem abandonada, sem manejo e com pastejo irregular, deve ter sofrido maiores impactos pelo pisoteio animal que as outras pastagens, provocando mudanças nas propriedades do solo. Santos et al. (2010) afirmam que o pisoteio animal pode proporcionar um aumento da densidade do solo e alterações na estabilidade dos agregados através da desagregação do solo.

Podemos associar menores valores de densidade a maiores teores de matéria orgânica e maior potencial em acumular carbono e nitrogênio no solo. A capacidade em acumular carbono e nitrogênio também diminui em solos compactados. Pádua et al. (2015) trabalhando com modelagem da densidade de solos em diferentes tipos de solo, até 100 cm de profundidade sob vegetação de floresta em Minas Gerais, observaram que o teor de carbono orgânico do solo diminuiu em solos que possuíam a densidade elevada, justificado pela redução da ação cimentante do carbono orgânico nos macroagregados.

#### 4.2- Nitrogênio Total

O nitrogênio total (NT) é exibido na Tabela 3 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Em todos os ambientes estudados foi observado maiores quantidades de nitrogênio nas camadas superficiais, à medida que foi aumentando a profundidade apesar de algumas oscilações, diminuiu-se a porcentagem de nitrogênio total no solo.

**Tabela 3.** Média e desvio padrão do nitrogênio total (%) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	0,43 ± 0,06 b	0,44 ± 0,02 b	0,57 ± 0,03 a	0,37 ± 0,02 b	0,38 ± 0,02 b
10 - 20	0,37 ± 0,01 c	0,41 ± 0,01 b	0,49 ± 0,03 a	0,38 ± 0,02 bc	0,52 ± 0,03 a
20 - 30	0,31 ± 0,01 c	0,27 ± 0,02 d	0,34 ± 0,02 b	0,40 ± 0,03 a	0,39 ± 0,04 ab
30 - 40	0,24 ± 0,02 b	0,27 ± 0,03 b	0,40 ± 0,04 a	0,30 ± 0,01 b	0,42 ± 0,02 a
40 - 60	0,38 ± 0,02 a	0,35 ± 0,06 a	0,37 ± 0,01 a	0,24 ± 0,01 b	0,33 ± 0,03 a
60 - 80	0,24 ± 0,03 b	0,38 ± 0,02 a	0,27 ± 0,01 b	0,23 ± 0,03 b	0,23 ± 0,03 b
80 - 100	0,21 ± 0,01 b	0,27 ± 0,01 a	0,27 ± 0,02 a	0,20 ± 0,03 b	0,19 ± 0,01 b
Médias	0,31	0,34	0,39	0,30	0,35

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Os processos encarregados pelo acúmulo de nitrogênio no solo são a agregação, a humificação e a sedimentação, e os encarregados pelas perdas são a erosão, decomposição, volatilização, lixiviação, desmatamento e remoção de colheita. A fixação de nitrogênio no solo ocorre através das fixações biológica e industrial.

O NT apresentou diferenças significativas na primeira profundidade, evidenciando a P1 com consideráveis valores de NT na camada de 0-10 cm (Tabela 3). Comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos um incremento de 32% de nitrogênio na primeira camada. A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1) e apresentou resultado significativamente semelhante ao NT do EN1. Nessa camada (0-10 cm) de profundidade a P3 aparece significativamente semelhante ao seu ecossistema de referência (EN2), mas com menor acúmulo de nitrogênio.

O acúmulo de NT nas pastagens nessa profundidade se deve provavelmente as gramíneas que possuem taxas de decomposição mais lentas em virtude da alta relação C/N e elevado teor de lignina, e ao seu sistema radicular que agregam e liberam exsudados no solo. Isso pode explicar como a P1 obteve maiores acúmulos de NT e como a P2 e P3 adquiriram semelhanças significativas com os ecossistemas naturais, que possuem adições constantes de nitrogênio ao solo (Tabela 3).

Na primeira camada de profundidade (0-10 cm), os ecossistemas naturais adquiriram um acúmulo do nitrogênio através da adição da serapilheira e pela sua agregação nos macro e microagregados do solo. Hipoteticamente, as pastagens obtiveram acúmulo desse nitrogênio, especialmente na P1, pela associação das gramíneas a bactérias fixadoras como a *Azospirillum brasiliense* comumente associada à *Brachiaria decumbens* (Fernandes, 2016) ou até mesmo por excreções de animais ricos em nitrogênio.

Entre as profundidades de 10 a 40 cm, na conversão do EN1 em P1 e em P2 observamos uma elevação nos teores de NT, o acúmulo de nitrogênio aumentou com a conversão em pastagem. Entre o mesmo intervalo de 10 a 40 cm, na conversão do EN2 em P3 constatamos os mesmos aumentos de NT que nas outras pastagens. Possivelmente, mesmo após a conversão, esses aumentos nos teores e estabilidade do nitrogênio no solo ocorreram pela adição de excrementos de animais ou supostamente pela fixação biológica das gramíneas. A deposição de fezes e urina no solo pelos animais de pastejo aumenta a concentração de nutrientes no solo, incluindo o nitrogênio (Dias-Filho & Ferreira, 2013).

Nas camadas mais profundas entre 40 a 100 cm (Tabela 3), comparando a P1 e a P2 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) vemos uma estabilidade do NT com a conversão. Ainda nessas camadas de profundidade, a P3 também apresentou no geral certa estabilidade do NT no solo. A conversão em pastagem não interferiu em camadas mais profundas do solo, evidenciando uma possível presença de resíduos recalcitrantes humificados protegidos por agregados nesse intervalo de profundidade. É possível presumir também nessas profundidades, a adição de matéria orgânica pelas gramíneas, que com o seu sistema radicular fasciculado agregou as partículas no solo, liberando exsudados e raízes mortas que contribuíram para os teores de NT.

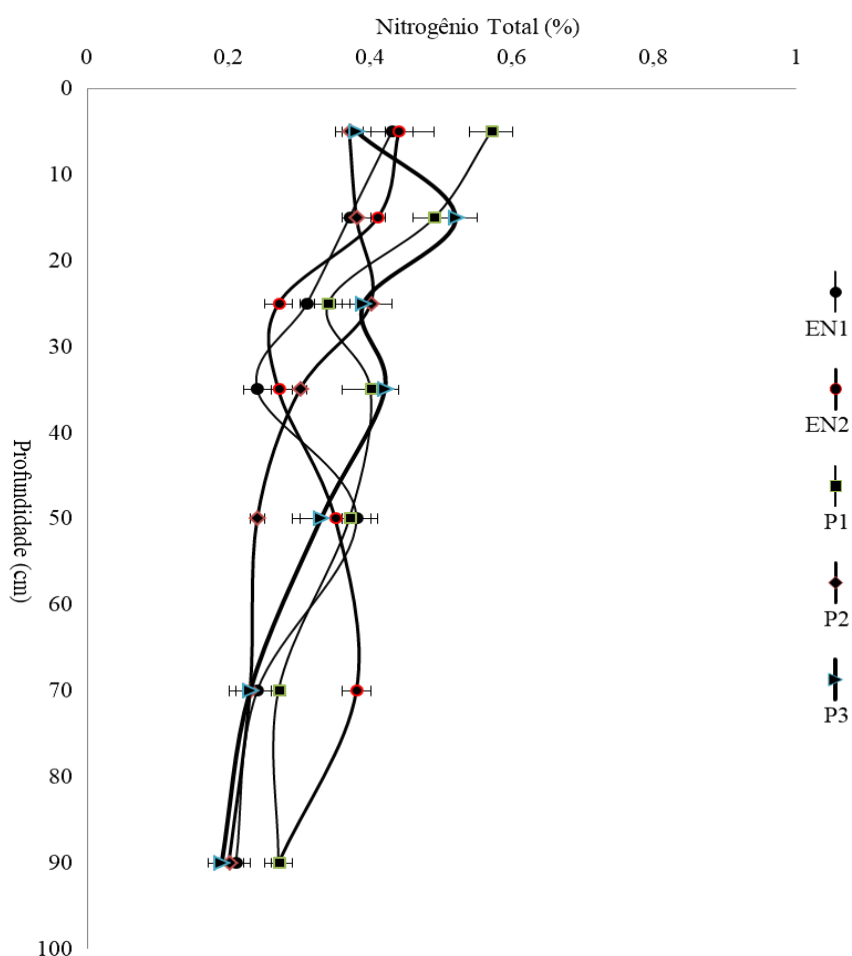
Os ecossistemas naturais nesse intervalo de profundidade (40 a 100 cm), apesar de semelhantes significativamente em algumas camadas apresentaram possuir valores de NT levemente superiores do que as pastagens, esses teores de NT supostamente ocorreram devido à estabilização da quantidade de matéria orgânica e da adição de resíduos nitrogenados que possivelmente se translocaram para camadas mais profundas.

A P3, mesmo supostamente compactada apresentou valores de NT consideráveis. Hipoteticamente devido a uma provável redução do processo de desnitrificação ocasionado pelo aumento da densidade e diminuição da adição de carbono orgânico nesse ambiente. A diminuição da deposição de resíduos orgânicos com a conversão em pastagem e a decomposição mais lenta das gramíneas dificultou a entrada da matéria orgânica nesse ambiente, restringindo a desnitrificação, tendo em consideração que parte das bactérias

desnitrificantes depende da disponibilidade de carbono orgânico para realizar esse processo (Santos, 2014).

Dentre os ecossistemas naturais, o EN2 foi superior ao EN1 no acúmulo de NT, cerca de 0,34% e 0,31%, respectivamente (Tabela 3). O EN2 manifestou possuir uma biodiversidade e uma formação vegetal em estágios mais avançados que proporcionou um acúmulo considerável de resíduos orgânicos ricos em nitrogênio. O EN2 apresentou uma ciclagem de nitrogênio mais lenta, o que acabou aumentando a fixação do NT e reduzindo a sua decomposição.

A Figura 2 reproduz os ambientes, e o acúmulo de nitrogênio no solo. Destacando a P1 e a P3 que apresentaram maior capacidade de acumular nitrogênio no solo, e obtiveram médias de 0,39% e 0,35%, respectivamente (Tabela 3). Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, observamos que a P1 apresentou 25,8% maior capacidade de acumular NT no solo que o EN1. Em relação a P2, foi o EN1 que apresentou maior acúmulo, cerca de 3,2%. A P3 apresentou 2,9% maior capacidade em acumular que o seu ecossistema de referência (EN2).



**Figura 2.** Distribuição de nitrogênio total (%) nos perfis (0-100 cm).

Examinando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, as pastagens apresentaram 7% maior capacidade de acumular NT no solo. Resultado levemente superior que pode ser atribuído a maiores adições nas pastagens de resíduos orgânicos nitrogenados com decomposição mais lenta e a permanência de resíduos recalcitrantes que continuaram estáveis em profundidade, mesmo após a conversão.

Estudando até 40 cm de profundidade em solo Oxisol (classificação dos EUA) as frações húmicas de solos de florestas, pastagens e culturas de milho, Tavares & Nahas (2014) relataram que as florestas obtiveram um aumento significativo no potencial de nitrificação, superior ao das pastagens. Essa nitrificação pode acabar disponibilizando nitrogênio as plantas, possibilitando a ciclagem do nitrogênio não o fixando no solo.

As pastagens de modo geral tiveram níveis de nitrogênio no solo superiores, porém a diferença foi mínima em relação aos ecossistemas naturais (Figura 2). Avaliando a emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o estoque de carbono e nitrogênio até 100 cm de profundidade em Latossolo-Vermelho Amarelo distrófico, em ambientes de eucalipto, pastagem e mata secundária na Mata Atlântica. Coutinho et al. (2010) não observaram diferenças significativas no nitrogênio do solo nos ambientes de mata e eucalipto, em relação à pastagem. Porém, esse estudo destaca que as menores emissões de óxido nitroso foram encontradas nas pastagens.

Trabalhando com populações microbianas e a atividade do solo em de solos sob sistemas agrícolas e agropecuários, em solos do tipo Red Latosol (Eutruxox) (classificação dos EUA) até 30 cm de profundidades, Garcia & Nahas (2012) observaram que os solos de floresta obtiveram maiores teores de nitrogênio, porém maior potencial de nitrificação do que os agropecuários.

#### **4.3- Carbono Orgânico Total**

O carbono orgânico total (COT) é exibido na Tabela 4 em função das médias e do desvio padrão, também apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Foram obtidos maiores teores de carbono nas camadas superficiais, porém ocorreu uma diminuição de sua porcentagem com o aumento da profundidade, alguns perfis tiveram pequenas variações. Vasconcelos et al. (2010) relatou a mesma diminuição com o aumento da profundidade caracterizando amostras de Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes sistemas de manejo e profundidades, justificando esse resultado pelo maior aporte de material orgânico na superfície através da cobertura do solo.

**Tabela 4.** Média e desvio padrão do carbono orgânico total (%) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	4,11 ± 0,04 a	3,42 ± 0,03 c	3,85 ± 0,11 b	2,81 ± 0,00 d	0,98 ± 0,18 e
10 - 20	2,44 ± 0,09 a	2,06 ± 0,08 c	2,24 ± 0,05 b	2,53 ± 0,01 a	1,27 ± 0,09 d
20 - 30	2,05 ± 0,07 b	1,08 ± 0,23 d	1,71 ± 0,17 c	2,37 ± 0,03 a	1,17 ± 0,07 d
30 - 40	1,72 ± 0,05 b	1,42 ± 0,05 c	1,42 ± 0,06 c	2,07 ± 0,07 a	1,08 ± 0,08 d
40 - 60	1,91 ± 0,03 a	1,42 ± 0,04 c	1,15 ± 0,05 d	1,63 ± 0,03 b	1,17 ± 0,05 d
60 - 80	1,30 ± 0,04 b	0,93 ± 0,08 c	0,92 ± 0,10 c	1,38 ± 0,05 a	0,94 ± 0,10 c
80 - 100	1,21 ± 0,04 a	0,63 ± 0,07 c	0,70 ± 0,06 c	1,06 ± 0,08 b	0,67 ± 0,11 c
Médias	2,11	1,57	1,71	1,98	1,04

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Os processos encarregados pelo acúmulo de carbono no solo são a agregação, a humificação e a sedimentação, e os encarregados pelas perdas são a erosão, decomposição, volatilização, lixiviação e desmatamento. A matéria orgânica do solo é relevante no processo de acúmulo de carbono, uma maior produção de fitomassa corresponde possivelmente a um aumento no carbono nas frações mais lábeis e recalcitrantes (Pegoraro et al., 2011).

Na primeira profundidade (0-10 cm) confrontando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) constatamos uma redução de COT após a conversão (Tabela 4). A redução no acúmulo de carbono nessa profundidade está ligada a diminuição do aporte de resíduos orgânicos na P1. O teor de COT é maior na superfície do solo por conta da adição de matéria orgânica. A densidade do solo (Tabela 2) nessa camada de 0-10 cm também corrobora com essa conclusão, indicando seu possível aumento por conta da redução de matéria orgânica do solo, visto que de 1,12 g cm<sup>-3</sup> de densidade no EN1 após a conversão em P1 se passou a ter 1,23 g cm<sup>-3</sup>.

A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1) e também apresentou nessa profundidade reduções de adição de serapilheira e de outros insumos que provocaram uma diminuição do acúmulo de carbono nessa pastagem.

Ainda nessa camada de profundidade (0-10 cm) a P3 comparada a seu ecossistema natural de referência (EN2) foi a que mais perdeu COT com a conversão em pastagem, é possível que o crescimento irregular de suas gramíneas e a pressuposta compactação do solo pelo pastejo tenha limitado sua capacidade em acumular carbono.

Entre 10 a 40 cm (Tabela 4) observamos que na conversão do EN1 em P1, os teores de COT diminuíram com a profundidade. A textura da P2 apresentou nesse intervalo, médias consideráveis de COT e uma estabilidade desse carbono sem mudanças significativas nesse intervalo, isso demonstra que os solos desses ambientes possuem agentes complexantes que conservaram e acabaram estabilizando a matéria orgânica do solo (Figueiredo et al., 2010).

Entre 10 a 40 cm, na conversão do EN2 em P3 observamos que os teores de COT aumentaram quando comparado a primeira profundidade (0-10 cm), manifestando a presença de uma matéria orgânica mais protegida, isso resultou em uma estabilidade dos teores de carbono nesse intervalo de profundidade. Aliado a isso, constatamos uma relação entre a densidade do solo (Tabela 2) e o COT na P3 (Tabela 4). À medida que a densidade do solo diminuiu os teores de COT aumentaram nesse intervalo de profundidade, impulsionado através de um aumento da matéria orgânica e da ação cimentante nos macroagregados do solo (Pádua et al., 2015).

No intervalo de 40 a 100 cm (Tabela 4) comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos que a conversão em pastagem reduziu a capacidade que esse solo tinha em acumular COT nas camadas mais profundas. Essa redução do carbono esta aliada com a perda de fontes de matéria orgânica em profundidade. A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1), o COT diminuiu com o aumento da profundidade, mas se apresentou de certa forma estável após a conversão em pastagem.

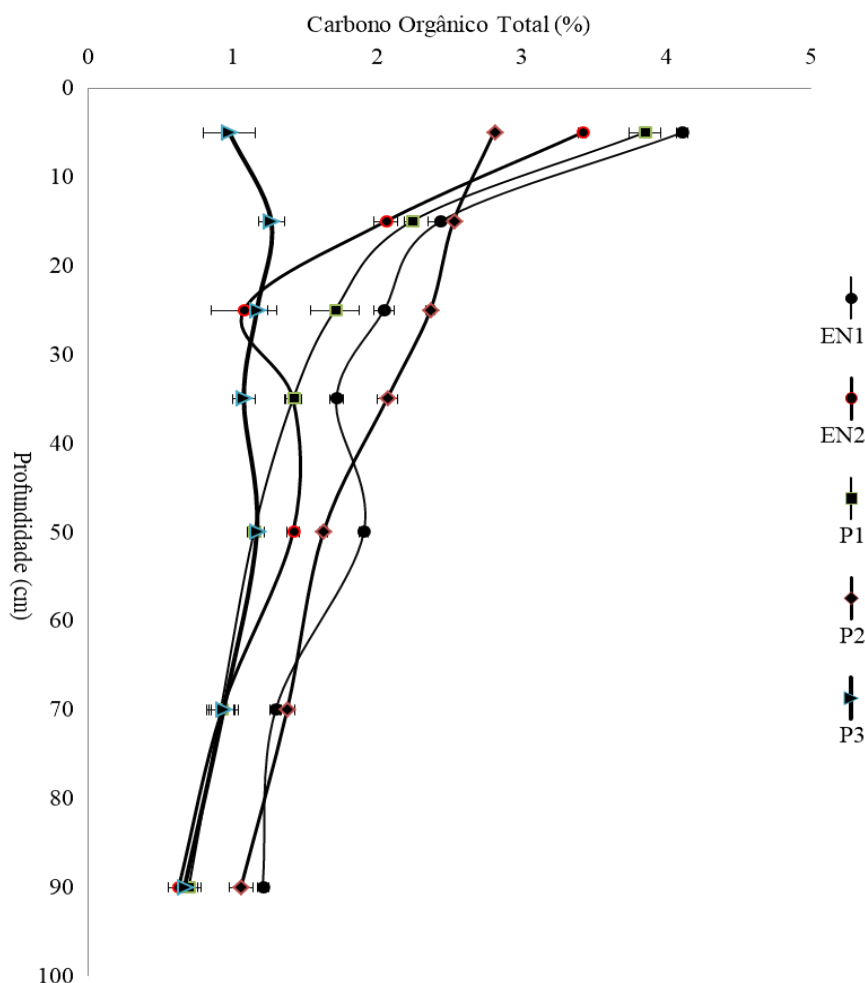
Ainda nessas camadas de profundidade (40 a 100 cm), a P3 apresentou COT estável após a conversão em pastagem, estabilizando a matéria orgânica em camadas mais profundas, reforçando que a presença de matéria orgânica reduz a densidade do solo (Tabela 2).

A P3 é o ambiente com menor média de COT com 1,04% (Tabela 4), muito provável que essa menor presença de carbono ao longo do perfil se deve a reduzidas entradas de resíduos orgânicos e por indícios de compactação do solo dessa pastagem provavelmente pelo pastejo aleatório no local. Dias-Filho (2011) diz que o pastejo excessivo pode levar a degradação, podendo reduzir a taxa de absorção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água e nutrientes pelas gramíneas, reduzindo a cobertura desse solo e consequentemente o teor de carbono na matéria orgânica. Segundo Corado Neto et al. (2015), baixa presença de cobertura vegetal pode provocar perdas de carbono orgânico.

Os ecossistemas naturais tiveram o teor de carbono diminuído com o aumento da profundidade, porém seus perfis apresentaram estatisticamente certa estabilização da matéria orgânica provocando um processo de armazenamento de componentes orgânicos recalcitrantes pela formação de agregados. Dentre os ecossistemas naturais, o EN1 foi superior ao EN2 no acúmulo de COT, cerca de 2,11% e 1,57%, respectivamente. Apesar do EN2 possuir uma biodiversidade e uma formação vegetal em estágios mais avançados, o EN1 apresentou a adição de resíduos orgânicos mais recalcitrantes, o que ocasionou uma decomposição mais lenta desses resíduos.



A Figura 3 reproduz os ambientes, e o acúmulo de carbono no solo. Destacando o EN1 e a P2 que apresentaram maior capacidade de acumular carbono no solo, e obtiveram médias de 2,11% e 1,98%, respectivamente (Tabela 4). Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, verificamos que o EN1 apresentou 18,9% maior capacidade de acumular COT no solo que a P1. O EN1 também apresentou maior acúmulo que a P2, cerca de 6,2%. O EN2 apresentou 33,7% maior capacidade de acumular carbono que a P3.



**Figura 3.** Distribuição de carbono orgânico total (%) nos perfis (0-100 cm).

Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, os ecossistemas naturais apresentaram 14% maior capacidade de acumular COT no solo. As concentrações de COT são maiores nos ecossistemas naturais quando comparado às pastagens, pela maior adição de resíduos e uma menor decomposição do material entre as camadas.

Os dados desta dissertação estão de acordo com Liu et al. (2011) que chegaram aos mesmos resultados que este estudo no que diz respeito ao carbono orgânico total, analisando até 200 cm os efeitos de fatores ambientais nos estoques regionais de carbono orgânico do

solo no platô de Loess, China. No estudo de Liu, comparando com as pastagens, as florestas obtiveram resultados de carbono superiores em todas as profundidades. Isso pode indicar que as florestas com maiores adições de carbono pela serapilheira, tem a possibilidade de proporcionar recalcitrância formando complexos organominerais associados à matéria orgânica.

Os mesmos resultados foram vistos em Yang et al. (2018) analisando a distribuição vertical e armazenamento de carbono orgânico e inorgânico do solo no noroeste da China até 100 cm de profundidade. Nesse estudo, as florestas montanhosas da região apresentaram maiores quilogramas de carbono (orgânico ou inorgânico) por metro quadrado ( $\text{kg/m}^2 \text{ C}$ ), com 18,69, 29,46 e 50,48, nas camadas de 0-30 cm, 0-50 cm e 0-100 cm respectivamente, as pastagens montanhosas apresentaram 11,33, 16,52 e 22,37 ( $\text{kg/m}^2 \text{ C}$ ).

Os dados de Mao et al. (2018) diferenciaram dos deste estudo, examinando a distribuição vertical do carbono orgânico e inorgânico do solo, até 200 cm, sob diferentes coberturas vegetais no platô de Loess, China, constataram que as porcentagens de carbono orgânico no solo foram maiores na pastagem do que na floresta.

#### **4.4- Carbono Orgânico Particulado**

O carbono orgânico particulado (COP) é exibido na Tabela 5 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Foram obtidos maiores teores de carbono orgânico particulado nas camadas superficiais, porém ocorreu uma diminuição da porcentagem desse carbono com o aumento da profundidade, existindo perfis com algumas oscilações. Corroborando com isso, Marques et al., (2013) observou a mesma diminuição desse carbono no seu estudo e atribuíram ao acúmulo de resíduos orgânicos na superfície.

Na profundidade de 0-10 cm os ecossistemas naturais tiveram maiores porcentagens de carbono orgânico particulado sendo estatisticamente iguais (Tabela 5). Podemos relacionar isso às adições constantes de resíduos orgânicos, aliado a uma melhor conservação da superfície do solo, em comparação com as pastagens. O COP acaba funcionando como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo. É necessário que o solo apresente quantidades satisfatórias de COP, caso contrário pode ocorrer uma redução do carbono no solo pelo processo de oxidação da matéria orgânica e mudanças na estrutura do solo.

**Tabela 5.** Média e desvio padrão do carbono orgânico particulado (%) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	2,35 ± 1,40 a	2,90 ± 0,47 a	1,03 ± 0,22 b	0,56 ± 0,05 c	0,40 ± 0,25 c
10 - 20	0,72 ± 0,12 a	0,31 ± 0,08 c	0,55 ± 0,06 b	0,66 ± 0,08 ab	0,05 ± 0,03 d
20 - 30	1,02 ± 0,79 a	0,12 ± 0,09 b	0,34 ± 0,15 a	0,54 ± 0,40 ab	0,10 ± 0,15 b
30 - 40	0,62 ± 0,22 a	0,39 ± 0,06 b	0,23 ± 0,09 c	0,41 ± 0,12 ab	0,18 ± 0,23 bc
40 - 60	0,47 ± 0,18 a	0,18 ± 0,05 b	0,15 ± 0,07 b	0,24 ± 0,27 ab	0,18 ± 0,09 b
60 - 80	0,24 ± 0,17 ab	0,13 ± 0,13 ab	0,25 ± 0,11 a	0,32 ± 0,13 a	0,06 ± 0,05 b
80 - 100	0,13 ± 0,06 bc	0,05 ± 0,06 c	0,17 ± 0,05 b	0,32 ± 0,08 a	0,11 ± 0,12 bc
Médias	0,79	0,58	0,39	0,44	0,15

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Na mesma profundidade (0-10 cm), a conversão do ecossistema natural de referência (EN1) em P1 causou uma redução de COP. A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1) e também por conta da conversão apresentou menores teores de COP. Essa redução é justificada pela perda do aporte de COP através da serapilheira e por consequência uma redução da quantidade de microrganismos como fungos. Esses microrganismos poderiam promover a estabilização de agregados por meio da capacidade de produzir glicoproteínas como a glomalina, reduzindo o impacto no COP (Campos, 2018). Outro motivo é a falta de manejo desses ambientes, afetando a estrutura do solo e a proteção física do COP.

Nessa mesma camada (0-10 cm) de profundidade a P3 comparada a seu ecossistema natural de referência (EN2) foi a que mais perdeu COP com a conversão em pastagem, também justificado pelo baixo aporte de resíduos orgânicos, da redução da biomassa microbiana e pela falta de manejo nesse ambiente.

No intervalo de 10 a 40 cm (Tabela 5) confrontando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), destaca-se a estabilidade do COP no EN1. Após a conversão em pastagem se observa uma redução desse carbono, indicando que as pastagens mal manejadas podem reduzir consideravelmente as quantidades de carbono no solo. A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1), nesse intervalo essa pastagem se apresenta estável estatisticamente demonstrando estabilidade de COP, provavelmente por possuir agentes complexantes que conservaram e acabaram estabilizando a matéria orgânica no solo (Figueiredo et al., 2010).

Entre 10 a 40 cm, na conversão do EN2 em P3 constatamos baixos valores de COP em comparação as outras pastagens. A densidade do solo (Tabela 2) da P3 nesse intervalo de profundidade está supostamente compactada, apesar da diminuição da densidade com a profundidade, o COP não sofreu aumento. Esses resultados da P3 estão relacionados aos do EN2 que também demonstra possuir reduzidas quantidades de COP nesse intervalo de profundidade, provavelmente por apresentar resíduos orgânicos que possuíam

decomposição rápida, diminuindo as chances de translocar esse COP para as camadas mais profundas.

No intervalo de 40 a 100 cm (Tabela 5) comparando a P1 e P2 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos que nesse intervalo de profundidade essas pastagens começaram a estabilizar os teores de COP, chegando a superar os valores do ecossistema natural nas profundidades de 60-80 cm e 80-100 cm. O COP em profundidade nessas duas pastagens teve uma maior estabilização, possivelmente porque ocorreu uma proteção desse carbono lábil, adição de exsudados das raízes, ou através de raízes mortas das braquiárias.

Ainda nesse intervalo de profundidade (40 a 100 cm), a conversão de EN2 em P3 apresentou certa estabilidade, o que é plausível sabendo que o COP é afetado pelo manejo do solo e por estarem em camadas profundas existem menores impactos da falta de manejo. O ambiente P3 deteve a menor média de COP (Tabela 5) provavelmente pela falta de manejo no ambiente com a diminuição da proteção física do carbono orgânico particulado, aliado ao crescimento irregular das gramíneas no local e presença de plantas invasoras da espécie *Cenchrus echinatus*, *Borreria verticillata* e *Rhynchospora nervosa*.

Os ecossistemas naturais possuem maiores teores de COP na primeira profundidade e nas médias comparadas dos ambientes, obtendo 0,79% de COP no EN1 e 0,58% no EN2 (Tabela 5). Esses resultados indicam que os ecossistemas naturais têm a vantagem de ter maiores adições de carbono ao solo, ou seja, esses ambientes possuem diversas formas de entrada de compostos orgânicos, principalmente nas camadas superficiais. Dentre os ecossistemas naturais, o EN1 foi superior ao EN2 no acúmulo de COP. A diferença entre os ambientes é explicada pela composição dos resíduos e pela velocidade de decomposição, o EN1 apresenta resíduos mais protegidos fisicamente que o EN2.

Ocorreu a proteção do COP dentro dos agregados do solo nos ecossistemas naturais, aumentando o tempo que a matéria orgânica do solo permanece nesses ambientes. Os resíduos vegetais encontrados na superfície do solo por estarem mais expostos, possuem maior facilidade de serem decompostos, a adição desses resíduos orgânicos ao solo modifica os teores de carbono total e lábil (Santos, 2016). A disparidade dos valores de COP entre as pastagens e os ecossistemas naturais vem da diferença do sistema radicular, da deposição de resíduos vegetais, da composição dos resíduos e do tempo de decomposição.

Verificando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, observamos que o EN1 apresentou 50,6% maior capacidade de acumular COP no solo que a P1. Comparando com a P2, o EN1 apresentou maior acúmulo de COP, com 44,3%. O EN2 apresentou 74,1% maior capacidade de acumular COP que a P3. Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, os ecossistemas naturais

apresentaram 52% maior capacidade de acumular COP no solo. Indicando que os ecossistemas naturais proporcionam uma melhor qualidade de matéria orgânica.

O resultado de maior acumulação de carbono particulado nos ecossistemas naturais se diferencia do encontrado por Pereira & Costa (2012), que avaliando a fertilidade, agregação e frações da matéria orgânica de um solo classificado como Nitossolo Vermelho até a profundidade de 40 cm com sistemas de uso diferentes, observaram que as pastagens obtiveram maiores teores de carbono orgânico particulado do que as florestas.

Os dados de Loss et al., (2014) estudando até a profundidade de 40 cm as frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo de classificação Nitossolo Vermelho, também diferenciaram dos encontrados. A floresta secundária obteve 19,80, 9,06, 5,81 e 4,05, em 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm respectivamente, enquanto as pastagens tiveram 29,10, 12,21, 9,53 e 5,00 gramas por quilograma ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Pesquisando sobre a matéria orgânica em ambientes de floresta secundária e pastagem até a profundidade até 30 cm. Menezes et al. (2017) constataram resultados diferentes a este estudo. Considerando a comparação das médias em profundidade da floresta secundária em estágio avançado com a pastagem, verificaram que as florestas obtiveram menores teores de COP, ou seja, as pastagens tinham maior entrada de carbono e maior proteção desse carbono no solo do que a floresta secundária em estágio avançado.

#### 4.5- Carbono Orgânico associado aos Minerais

O carbono orgânico associado aos minerais (COM) é exibido na Tabela 6 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos na maioria dos ambientes, com exceção da camada de 60-80 cm. Foram obtidos maiores teores de COM nas camadas superficiais (0 até 40 cm), apesar de oscilações ocorreu uma diminuição da porcentagem desse carbono com o aumento da profundidade. Corroborando com Ojeda et al. (2018) que observou a mesma diminuição de carbono orgânico associado aos minerais com o aumento da profundidade do solo.

**Tabela 6.** Média e desvio padrão do carbono orgânico associado aos minerais (%) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	1,76 $\pm$ 1,43 ab	0,52 $\pm$ 0,45 c	2,82 $\pm$ 0,25 a	2,26 $\pm$ 0,05 b	0,58 $\pm$ 0,43 c
10 - 20	1,72 $\pm$ 0,17 ab	1,75 $\pm$ 0,14 ab	1,69 $\pm$ 0,05 b	1,87 $\pm$ 0,08 a	1,22 $\pm$ 0,06 c
20 - 30	1,03 $\pm$ 0,82 ab	0,97 $\pm$ 0,31 b	1,37 $\pm$ 0,31 ab	1,83 $\pm$ 0,40 a	1,07 $\pm$ 0,16 b

30 - 40	1,09 ± 0,27 b	1,03 ± 0,04 b	1,19 ± 0,07 b	1,66 ± 0,16 a	0,90 ± 0,26 b
40 - 60	1,44 ± 0,16 a	1,24 ± 0,08 a	0,99 ± 0,05 b	1,39 ± 0,25 a	0,99 ± 0,05 b
60 - 80	1,06 ± 0,21 a	0,80 ± 0,19 a	0,67 ± 0,17 a	1,06 ± 0,09 a	0,88 ± 0,09 a
80 - 100	1,08 ± 0,09 a	0,58 ± 0,02 c	0,53 ± 0,02 d	0,73 ± 0,08 b	0,56 ± 0,13 cd
Médias	1,31	0,98	1,32	1,54	0,89

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

De 0-10 cm de solo (Tabela 6), confrontando a P1 e a P2 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos um aumento de COM. A textura do solo (Tabela 1) constata que após a conversão de ecossistema natural para pastagem, tanto na P1 quanto na P2 os teores de areia diminuíram e os teores de silte e argila aumentaram, os dados texturais influenciam nos diferentes acúmulos de COM nas pastagens. O aumento do teor de argila deve ter proporcionado uma maior quantidade de carbono nos sítios de adsorção. O sistema radicular das gramíneas com o fornecimento de carbono através de raízes mortas e rizodeposição também pode ser o responsável pelo aumento do teor de COM nessa camada de profundidade (Carmo et al., 2012).

Nesse intervalo de profundidade (0-10 cm) a P3 comparada a seu ecossistema natural de referência (EN2) apresentou resultados superiores, porém eles não possuem diferença significativa, indicando que o COM se estabilizou nessa profundidade. Os teores de areia e silte se apresentaram maiores e os teores de argila diminuíram após a conversão (Tabela 1). As formações de COM é consequência da decomposição do COP e as menores quantidades de COP nessa pastagem (Tabela 5), justificam esse resultado. O solo deve possuir acúmulos suficientes de COM para evitar processos que podem diminuir o teor de carbono da matéria orgânica podendo levar o solo a degradação.

Entre 10 a 40 cm (Tabela 6) com a conversão do EN1 em P1, as porcentagens de silte continuaram aumentando, porém os teores de areia aumentaram e os de argila diminuíram com a conversão (Tabela 1). Entretanto, constatamos uma estabilização do COM nessa pastagem, demonstrando que o solo desse ambiente conservou através de agentes complexantes a matéria orgânica do solo, estabilizando-a (Figueiredo et al., 2010).

Confrontando a P2 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), sua textura obteve reduções nos teores de areia e aumento nos teores de silte e argila, obtendo estabilidade no COM após a conversão (Tabela 1). A P2 não apresentou diferenças estatísticas, o que demonstra que a matéria orgânica se estabilizou e se decompôs menos, manifestando interação com as partículas minerais do solo.

No mesmo intervalo de profundidade (10 a 40 cm), com a conversão do EN2 em P3 observamos que os teores de areia reduziram e os de silte e argila aumentaram (Tabela 1), isso fez com que os teores de COM acumulados nessas profundidades elevassem. Com exceção da profundidade de 10-20 cm a P3 não apresentou diferenças estatísticas do EN2.

Provavelmente devido à presença de matéria orgânica nesse intervalo de profundidade, que acabou reduzindo a densidade do solo nesse ambiente, aumentando a ação cimentante do carbono orgânico nos macroagregados do solo (Pádua et al., 2015). Diferente do COP, o COM é menos impactado pelo uso e manejo do solo em curto prazo de tempo (Santos et al., 2012).

No intervalo de 40 a 100 cm (Tabela 6) comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), podemos ver que na textura do solo (Tabela 1) que após a conversão os teores de areia aumentaram e os teores de silte e argila diminuíram, constatando uma redução dos teores de COM no ambiente. Nesse intervalo de profundidade, essa redução do COM indica uma perda de fontes de matéria orgânica a partir da conversão.

No intervalo de 40 a 100 cm, comparando a P2 com o ecossistema natural de referência (EN1), verificamos que os teores de areia aumentaram e os teores de silte e argila diminuíram com a profundidade (Tabela 1) após a conversão. Porém a estatística apenas diferencia a profundidade de 80-100 cm, demonstrando que de 40 a 80 cm a P2 estabilizou fisicamente o COM. Nessas camadas de profundidade (40 a 100 cm), a P3 comparada com o seu ecossistema natural de referência (EN2) apresentou em geral menores teores de areia, teores de silte constantes e pequenos aumentos nos teores de argila. Apesar desse resultado a P3 apresenta valores de certa forma estáveis de COM, porém com algumas perdas após a conversão em pastagem.

Em profundidade (40 até 100 cm) os ecossistemas naturais se evidenciaram em relação aos teores de COM, estando o EN1 estabilizado fisicamente e o EN2 estável de 40 até 80 cm. A camada de 60-80 cm não diferenciou significativamente em nenhum dos ambientes, esses dados indicam que o COM obteve mais proteção coloidal em profundidade, provavelmente pelas formações de complexos organominerais associados às partículas mais finas, silte e argila (Carmo et al., 2012).

O EN2 e a P3, com 0,98% e 0,89% (Tabela 6) respectivamente, foram os ambientes que obtiveram menor média de COM, sendo também os que tiveram os mais baixos valores na primeira camada (0-10 cm). Os baixos teores de COM expressam que esses dois ambientes estabilizaram menos carbono nas camadas de solo mais próximas da superfície, provavelmente em função da textura mais arenosa nessas profundidades, em comparação aos outros ambientes estudados (Tabela 1).

Com média de 1,54%, a P2 foi o solo que apresentou maiores teores de COM, denotando melhores formas de proteção do carbono na matéria orgânica. Os ambientes P2 e P1, diferentes do P3 supostamente compactado, conseguiram acumular COM de forma

eficiente, possivelmente por uma renovação das raízes das gramíneas que acabaram incorporando e protegendo a matéria orgânica no solo.

Dentre os ecossistemas naturais, o EN1 foi superior ao EN2 no acúmulo de COM. A diferença entre os ambientes é devido à estabilização de COM no EN1, que promoveu uma proteção física melhor do que o EN2. Possivelmente os teores mais altos de areia na camada de 0-10 cm do EN2 influenciaram nesse resultado.

Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, verificamos que a P1 apresentou apenas 1% maior capacidade de acumular COM no solo que o EN1. A P2 apresentou resultados superiores, cerca de 17,5% maior acúmulo que o EN1. O EN2 apresentou 9,2% maior capacidade de acúmulo de COM que a P3. Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, as pastagens apresentaram 9% maior capacidade de acumular COM no solo. Apesar de diferenças mínimas de porcentagem, as pastagens obtiveram maiores resultados de COM.

Esse resultado pode ser explicado pelas maiores quantidades de COM na superfície do solo das pastagens, enquanto que os ecossistemas naturais manifestaram quantidades consideráveis em camadas mais profundas. Os ecossistemas naturais possuem maior COP e adição de carbono no solo através de resíduos vegetais, estes ambientes conseguiram conservar mais esses resíduos, reduzindo a associação do carbono na superfície. Com a pastagem aconteceu o contrário, parte do COP foi perdido pelo mal manejo do solo ou foi decomposto formando COM. Apesar do menor aporte de resíduos vegetais nas pastagens, as gramíneas possuem altos teores de lignina que acabaram formando complexos organominerais, aumentando a presença de COM (Pereira & Costa, 2012; Ribeiro, 2016).

O resultado encontrado de maiores teores de carbono orgânico associado aos minerais nas pastagens é diferente dos obtidos por Menezes et al. (2017) pesquisando sobre a matéria orgânica em florestas secundárias e pastagem até a profundidade de 30 cm. Considerando a comparação das médias em profundidade da floresta secundária em estágio avançado com a pastagem, a floresta obteve maiores teores de carbono orgânico associado aos minerais a partir da decomposição dos resíduos vegetais.

Estudando sobre frações físicas granulométricas da matéria orgânica em sistema de plantio direto, locais de culturas alternadas, pastejo e mata nativa até 20 cm de profundidade, Moraes et al. (2017) relataram maiores teores de COM na mata do que na pastagem, este resultado também se diferencia dos encontrados nesse trabalho.

Analisando frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto, áreas de eucalipto, pastagem e floresta em estágio médio de regeneração até a profundidade de 40 cm, Balin et al. (2017)



encontraram resultados semelhantes a esta dissertação. A pastagem obteve maiores teores de COM que a mata, apresentando maior potencial em preservá-lo no solo.

#### 4.6- Estoque de Nitrogênio Total

O estoque de nitrogênio total (ENT) é exibido na Tabela 7 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Foi observado oscilações das quantidades de estoque de nitrogênio, de 0 até 40 cm houve uma diminuição à medida que foi aumentando a profundidade. Nas camadas de 40 até 100 cm ocorreu um aumento das quantidades de estoque, com variações entre os ambientes. Os valores superiores de estoque nas camadas de 40 até 100 cm se deve ao aumento dos centímetros da amostragem de solo, as primeiras camadas possuíam apenas 10 cm, a partir dos 40 cm se observa 20 cm de amostra de solo coletado.

**Tabela 7.** Média e desvio padrão do estoque de nitrogênio total (Mg ha<sup>-1</sup>) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	4,85 ± 0,98 b	4,62 ± 0,41 b	7,05 ± 0,26 a	4,71 ± 0,27 b	6,39 ± 0,47 a
10 - 20	4,21 ± 0,09 c	5,38 ± 0,13 b	5,82 ± 0,32 b	4,14 ± 0,33 c	8,20 ± 0,08 a
20 - 30	3,80 ± 0,10 c	3,86 ± 0,15 c	4,48 ± 0,21 b	4,94 ± 0,44 b	6,26 ± 0,67 a
30 - 40	3,14 ± 0,18 c	4,07 ± 0,29 b	4,55 ± 0,63 b	3,33 ± 0,08 c	6,42 ± 0,57 a
40 - 60	8,37 ± 0,41 b	9,37 ± 0,37 a	8,99 ± 0,84 ab	5,89 ± 0,27 c	9,87 ± 0,71 a
60 - 80	5,97 ± 0,75 b	12,24 ± 0,53 a	6,56 ± 0,22 b	6,28 ± 0,88 b	6,65 ± 0,83 b
80 - 100	5,25 ± 0,14 d	8,14 ± 0,23 a	7,05 ± 0,45 b	5,80 ± 0,99 bc	5,71 ± 0,19 c
Médias	5,08	6,81	6,36	5,01	7,07

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Na primeira profundidade (0-10 cm) comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), observamos um aumento de ENT após a conversão (Tabela 7). Esse aumento no ENT ocorre presumidamente através das gramíneas que com seu sistema radicular, acabam liberando exsudados no solo ou supostamente pela fixação de nitrogênio através de bactérias localizadas nessas raízes. A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1), apesar de ter menores teores de ENT não possui diferença significativa do EN1 o que sugere que não houve perda de ENT com a conversão em pastagem nessa profundidade.

Ainda na profundidade de 0-10 cm, a P3 adquiriu um ganho em ENT a partir da conversão do seu ecossistema de referência (EN2), presumindo também que esse acúmulo ocorreu devido à presença de bactérias fixadoras de nitrogênio ou a adição de nitrogênio através das excreções de animais herbívoros.

Entre as profundidades de 10 a 40 cm (Tabela 7), na conversão do EN1 em P1 observamos que o ENT aumentou com a conversão em pastagem. A P1 permanece sem diferenças significativas com o aumento da profundidade, indicando estabilidade do ENT nesse intervalo de profundidade. Entre as profundidades de 10 a 40 cm, comparando a conversão de EN1 em P2, houve um aumento nos estoques apenas na profundidade de 20-30 cm, nas outras profundidades observamos uma estabilização do ENT. Supostamente nesses ambientes, ocorreu fixação de nitrogênio e adições de matéria orgânica pelas gramíneas através do seu sistema radicular fasciculado, promovendo agregação das partículas no solo, liberando exsudados e raízes mortas.

No mesmo intervalo de profundidade (10 a 40 cm), na conversão do EN2 em P3 constatamos um aumento nos valores de ENT e uma estabilidade desse nitrogênio no solo, observando que não há diferenças significativas com o aumento da profundidade. Apesar do crescimento irregular e da presença de plantas invasoras nesse ambiente.

Uma hipótese para a elevação do nitrogênio na P3 é a redução do processo de desnitrificação, intensificada pelo aumento da densidade ou compactação do solo, e associado à diminuição da adição de carbono no solo pela serapilheira (Santos, 2014). Parte das bactérias desnitrificantes depende da disponibilidade de carbono orgânico para realizar esse processo, a P3 possui baixos teores de COT (Tabela 4) nesse intervalo de profundidade corroborando com essa hipótese.

Entre as camadas mais profundas, de 40 a 100 cm (Tabela 7), comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos um aumento do ENT. Nessa profundidade a conversão em P1 manifestou estabilidade do nitrogênio estocado. Entre o mesmo intervalo de profundidade, a conversão do ecossistema natural de referência (EN1) em P2, demonstrou oscilações na estabilidade de ENT. O nitrogênio acumulado permaneceu recalcitrante nas camadas mais profundas do solo após a conversão, obtendo supostamente algumas adições de ENT através das raízes das braquiárias.

Ainda nessas camadas de profundidade (40 a 100 cm), a conversão de EN2 em P3 reduziu o acúmulo de ENT (Tabela 7). O EN2 é o ambiente com a maior capacidade de acumular nitrogênio em profundidade (40 até 100 cm), esse estoque está relacionado à matéria orgânica do solo, visto que nessas profundidades o ENT aparece estável estatisticamente. Hipoteticamente pelo auxílio de fungos micorrízicos nas raízes de árvores formando a glomalina e estabilizando o ENT nas camadas mais profundas do solo (Campos, 2018).

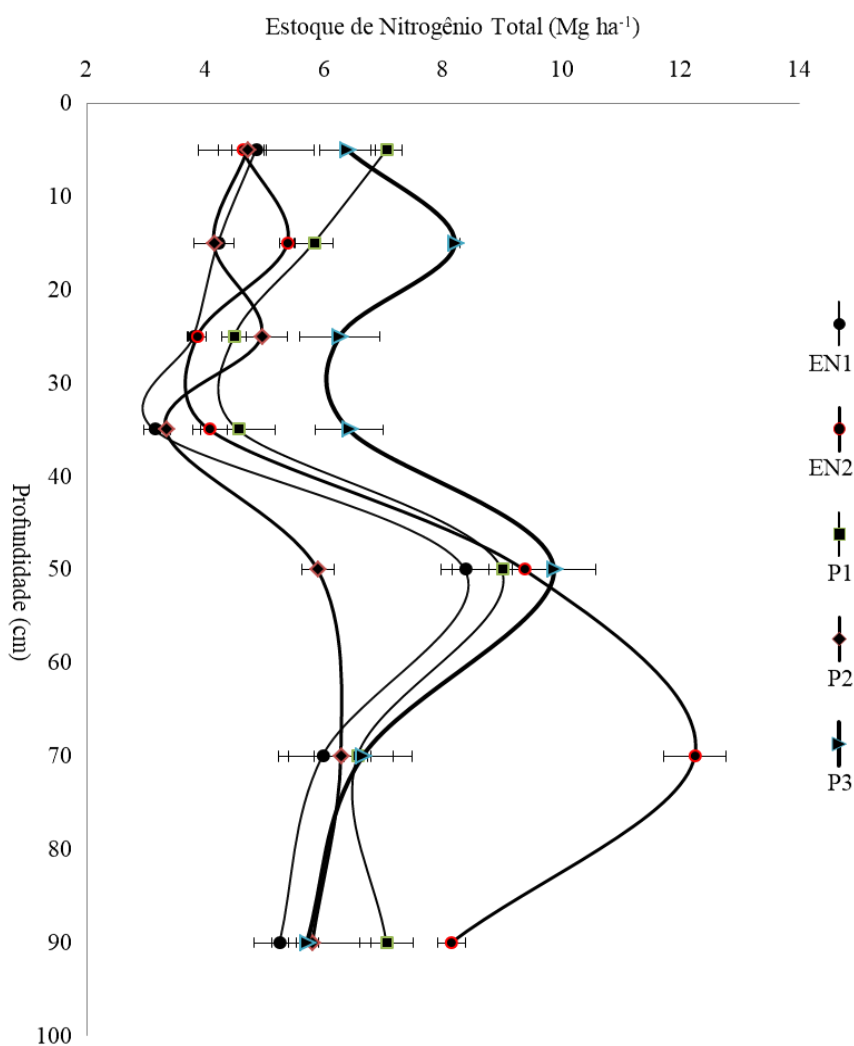
Apesar de possuírem menores teores de carbono as pastagens possuem maiores teores de nitrogênio quando comparados com o ecossistema natural, Cardoso et al. (2010)

explica esse resultado. Em seu estudo observaram que a conversão de floresta nativa em pastagem proporcionou uma redução nos estoques de carbono orgânico, porém não houve alteração nos estoques de nitrogênio total. Para os autores, o pastejo na pastagem nativa provocou perdas nos estoques de carbono, associado a ácidos húmicos, humina, e ácidos fúlvicos. Reduzindo os estoques de carbono, mas não alterando o do nitrogênio.

Dentre os ecossistemas naturais, o EN2 foi superior ao EN1 no acúmulo de ENT, cerca de  $6,81 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $5,08 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. O EN1 apresentou algumas perdas de nitrogênio no solo, e o EN2 presumidamente obteve maior capacidade de fixação do nitrogênio ao solo devido à redução das perdas por volatilização. O EN2 apresentou um possível acúmulo de resíduos orgânicos ricos em nitrogênio e uma ciclagem mais lenta desse nutriente.

A Figura 4 reproduz os ambientes, e seus estoques de nitrogênio. Destacando a P3 e o EN2 que apresentaram maior capacidade de estocar nitrogênio no solo, e obtiveram médias de  $7,07 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $6,81 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 7). Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, verificamos que a P1 apresentou 25,2% maior capacidade de ENT no solo que o EN1. Diferente da P1, o EN1 apresentou maior ENT que a P2, cerca de 1,4%. A P3 apresentou 3,8% maior capacidade de ENT que o EN2.

Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, as pastagens apresentaram 3% maior capacidade de acumular ENT no solo. Resultado levemente superior supostamente atribuído a maiores adições nas pastagens de resíduos orgânicos nitrogenados e a permanência de resíduos recalcitrantes que continuaram estáveis em profundidade, mesmo após a conversão.



**Figura 4.** Estoque de nitrogênio total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).

O resultado encontrado de maiores estoques de nitrogênio nas pastagens se diferencia dos obtidos por Ramos et al. (2013) trabalhando até a profundidade de 20 cm com estoques de carbono e nitrogênio nas substâncias húmicas do solo sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Vermelho distroférico. Esses autores observaram que solos da mata nativa obtiveram maior capacidade de estocar nitrogênio no solo.

Analizando em diferentes profundidades as mudanças no carbono, nitrogênio e fósforo do solo devido a mudanças no uso da terra no Brasil, Groppo et al. (2015) constataram que os estoques de nitrogênio nos ambientes de vegetação nativa foram maiores do que dos ambientes de pastagem, resultado que difere do encontrado nesta dissertação.

Avaliando até a profundidade de 60 cm os estoques de carbono e nitrogênio no solo e teores de substâncias húmicas de cultivos agrícolas no semiárido, Pegoraro et al. (2018) relataram no seu estudo que os estoques de nitrogênio das pastagem foram estatisticamente similares com os da floresta nativa.

#### 4.7- Estoque Carbono Orgânico Total

O estoque de carbono orgânico total (ECOT) é exibido na Tabela 8 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Variações foram observadas nas quantidades de estoque de carbono, de 0 até 40 cm houve uma diminuição à medida que foi aumentando a profundidade. Nas camadas de 40 até 100 cm ocorreu um aumento das quantidades de estoque, ocorrendo também uma diminuição com o aumento da profundidade. Os valores superiores de estoque nas camadas de 40 até 100 cm se deve ao aumento dos centímetros da amostragem de solo, as primeiras camadas possuíam apenas 10 cm, a partir dos 40 cm se observa 20 cm de amostra de solo coletado.

**Tabela 8.** Média e desvio padrão do estoque de carbono orgânico total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	46,25 $\pm$ 2,64 a	36,22 $\pm$ 2,64 b	47,53 $\pm$ 1,89 a	36,21 $\pm$ 0,71 b	16,43 $\pm$ 2,99 c
10 - 20	28,09 $\pm$ 1,25 a	26,86 $\pm$ 1,10 a	26,75 $\pm$ 0,69 a	27,81 $\pm$ 0,48 a	19,84 $\pm$ 0,73 b
20 - 30	25,53 $\pm$ 0,88 b	15,29 $\pm$ 3,07 d	22,46 $\pm$ 2,10 c	28,89 $\pm$ 1,01 a	18,60 $\pm$ 0,94 d
30 - 40	22,26 $\pm$ 0,28 a	21,10 $\pm$ 0,59 b	16,11 $\pm$ 0,83 c	22,82 $\pm$ 0,79 a	16,38 $\pm$ 2,10 c
40 - 60	42,41 $\pm$ 1,84 a	37,85 $\pm$ 1,11 b	28,41 $\pm$ 3,60 d	39,70 $\pm$ 0,80 b	34,61 $\pm$ 1,50 c
60 - 80	32,02 $\pm$ 0,43 b	30,09 $\pm$ 2,63 bc	22,45 $\pm$ 2,33 c	36,94 $\pm$ 2,48 a	26,81 $\pm$ 2,74 c
80 - 100	30,30 $\pm$ 0,88 a	18,98 $\pm$ 2,21 b	17,97 $\pm$ 1,11 b	30,10 $\pm$ 2,66 a	19,73 $\pm$ 3,25 b
Médias	32,41	26,63	25,95	31,78	21,77

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Na primeira profundidade (0-10 cm) confrontando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) constatamos semelhanças estatísticas e um aumento de ECOT (Tabela 8). A P1 demonstrou ter capacidade em estocar carbono no solo, provavelmente através da adição de carbono pela braquiária, que com o seu sistema radicular fasciculado agregou as partículas no solo, estabilizando a matéria orgânica, liberando exsudados e raízes mortas que contribuíram no ECOT.

A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1) e apresentou nessa camada de profundidade (0-10 cm) redução dos teores de ECOT, possivelmente pela perda nas adições de serapilheira e de outros insumos de carbono no ambiente, e por adições de carbono mais lábeis.

Nessa camada (0-10 cm) de profundidade a P3 comparada a seu ecossistema natural de referência (EN2) foi a que mais perdeu ECOT com a conversão em pastagem. Proporcionado pela perda do material orgânico possivelmente por oxidação. Aliado a esses

motivos, temos a suposta compactação do solo nesse ambiente, que presumidamente limitou ainda mais sua capacidade em estocar carbono.

Entre o intervalo de 10 a 40 cm na conversão do EN1 em P1 (Tabela 8), o ECOT reduziu por consequência de uma menor proteção física da matéria orgânica. Apesar disso, constatamos estatisticamente que a camada de 10-20 cm apresentou estabilidade do ECOT após a conversão em pastagem.

Ainda entre o intervalo de 10 a 40 cm, na conversão do EN1 em P2 constatamos uma maior estabilidade do carbono, apresentando nenhuma mudança significativa nesse intervalo. Observamos que após a conversão desse ambiente, o ECOT aumentou e estabilizou-se, isso ocorreu possivelmente por agentes complexantes que conservaram e acabaram estabilizando a matéria orgânica do solo (Figueiredo et al., 2010). Entre 10 a 40 cm, na conversão do EN2 em P3 verificamos oscilações no ECOT, sendo estatisticamente semelhante ao EN2 apenas na camada de 20-30 cm.

Na profundidade de 10-20 cm (Tabela 8) observamos uma estabilidade nos estoques de carbono dos ambientes, menos na P3 que apresentou diferença estatística. A P3 dentre os ambientes desse estudo foi a que menos apresentou teores de carbono nas camadas superficiais, e consequentemente no estoque de carbono apresenta as mesmas características. Esses resultados podem ser atribuídos a uma baixa deposição de resíduos orgânicos, a uma rápida degradação do material orgânico em superfície, e ainda a uma provável redução da estabilidade dos agregados e de sua ação cimentante.

Somando as médias das camadas no perfil dos ambientes até a profundidade de 40 cm, observamos que o EN1 e a P2 apresentam os maiores valores de ECOT (Tabela 8). Nas profundidades superficiais (0 até 40 cm), as fontes de carbono no EN1 são originadas da deposição dos resíduos orgânicos. Na P2 as fontes vêm das raízes mortas de gramíneas e dos excrementos dos animais que acabam sendo decompostos, aportando carbono nesse intervalo de profundidade. As gramíneas apresentam sistemas radiculares fasciculados que facilita a penetração de suas raízes até as camadas mais profundas do solo, o que acaba unindo as partículas do solo e consequentemente acumulando carbono em seus agregados.

No intervalo de 40 até 100 cm (Tabela 8), comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos que a conversão em pastagem reduziu a capacidade que esse solo tinha em ECOT nesse intervalo de profundidade. Justificada pela perda das fontes de matéria orgânica em profundidade, que acabam apresentando menores fornecimentos de carbono para o estoque no solo.

No intervalo de 40 até 100 cm, a P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1) e de forma geral constatamos que os teores de ECOT diminuíram, contudo essa

pastagem apresentou ser a mais estável após a conversão. Ainda nesse intervalo de profundidade (40 até 100 cm), a P3 apresentou certa estabilidade com o aumento da profundidade, com a capacidade de estocar carbono em subsuperfície. Demonstrando uma estabilidade que vai de 30 a 80 cm do solo e uma conservação de ECOT após a conversão na camada de 80-100 cm (Tabela 8).

Alguns ambientes apresentaram maiores ECOT nas camadas mais profundas (40 até 100 cm) do que na superfície (0 a 40 cm). A decomposição da matéria orgânica em superfície é mais acelerada e menos estável, sendo decomposta mais rapidamente pela fauna edáfica (Denardin et al., 2014). Em camadas mais profundas os componentes orgânicos são mais recalcitrantes, humificando e formando agregados estáveis que acabam se armazenando e exercendo impacto direto no aumento do ECOT no solo.

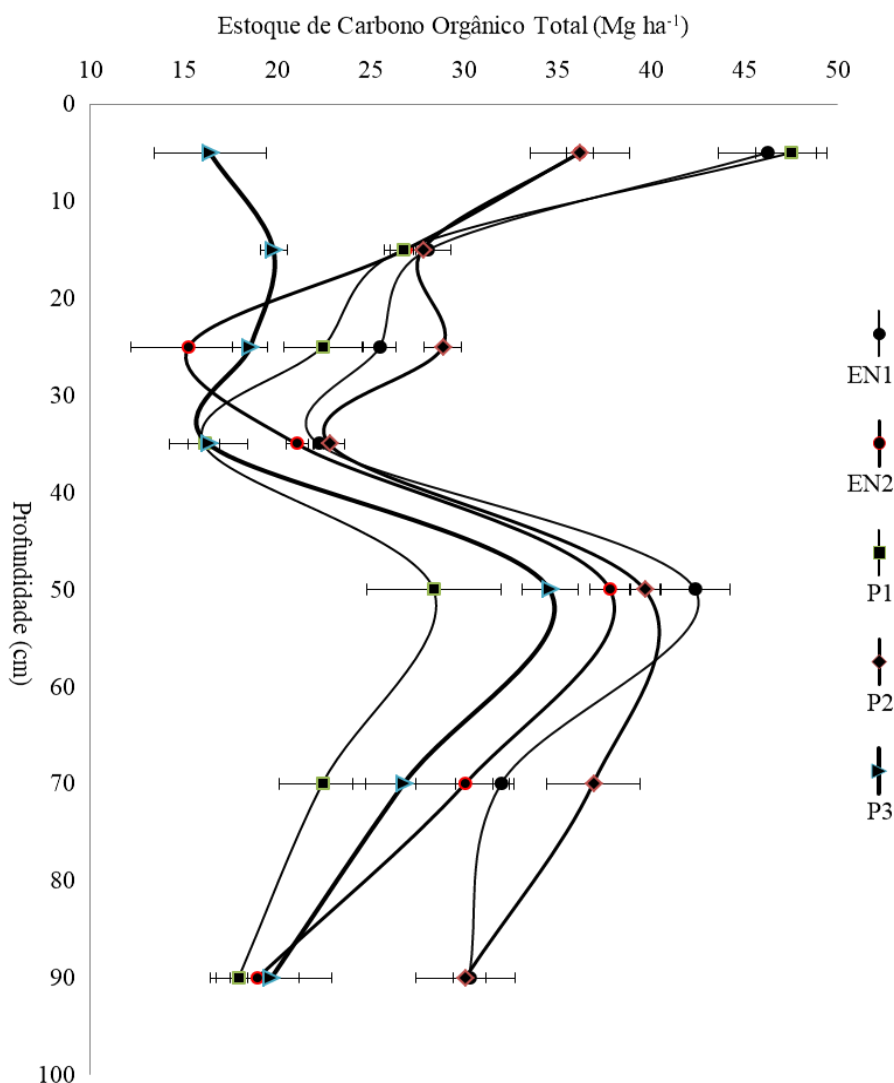
A P3 é o ambiente que obteve os menores valores de ECOT, cerca de  $21,77 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 8). É possível justificar esses resultados pela suposta compactação nas primeiras camadas do solo da P3. Nesse ambiente o gado pastejava de forma aleatória e livre, aliado a isso, não se aplica nenhum manejo nessa pastagem. Dentre as outras, essa pastagem presumidamente foi a que sofreu maiores impactos no pisoteio dos animais, apresentando altas taxas de densidade nas primeiras camadas do solo (Tabela 2).

Calonego et al. (2012) estudando os estoque de carbono e as propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo, analisaram que solos compactados e com baixa cobertura vegetal impactavam diretamente as densidades, porosidade e o teor de matéria orgânica no solo, atingindo assim a capacidade de estocar carbono. Denardin et al. (2014) explica que o manejo inadequado do solo e até mesmo a alteração da cobertura provocam perdas rápidas de carbono estocado.

Os ecossistemas naturais indicaram possuir maiores capacidades de ECOT do que as pastagens. Justificado pela maior adição de carbono no solo através de resíduos orgânicos. Dentre os ecossistemas naturais, o EN1 foi superior ao EN2 no acúmulo de ECOT, cerca de  $32,41 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $26,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Apesar do EN2 possuir uma biodiversidade e uma formação vegetal em estágios mais avançados, o EN1 apresentou a adição de resíduos vegetais mais recalcitrantes, que se tornaram estáveis através de uma proteção coloidal com presumida participação de fungos micorrízicos que podem ter produzido glomalina, estruturando os agregados.

A Figura 5 reproduz os ambientes, e seus estoques de carbono. Destacando o EN1 e a P2 que apresentaram maior capacidade de estocar carbono no solo, e obtiveram médias de  $32,41 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $31,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 8). Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, constatamos que o EN1 apresentou 19,9% maior

capacidade de ECOT que a P1. O EN1 também apresentou maior ECOT que a P2, cerca de 1,9%. O EN2 apresentou 18,2% maior capacidade de ECOT que a P3. Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, os ecossistemas naturais apresentaram 10% maior capacidade de acumular ECOT no solo.



**Figura 5.** Estoque de carbono orgânico total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).

Esse resultado se diferencia do resultado encontrado por Jeong et al. (2018) estudando as características do carbono acumulado no solo e da respiração do solo em florestas decíduas temperadas e pastagens alpinas, observaram que as pastagens acumularam mais carbono no solo quando comparada as florestas. Esses autores justificam o maior estoque de carbono das pastagens, por maiores suprimentos de resíduos e menores taxas de respiração do solo.

Analisando o estoque de carbono em solos brasileiros e o potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa, Cidin (2016) constatou resultados



semelhantes a esta dissertação quando observou que a vegetação nativa teve maior potencial em estocar carbono no solo do que a pastagem.

Avaliando até a profundidade de 60 cm os estoques de carbono e nitrogênio no solo e substâncias húmicas de cultivos agrícolas no semiárido, Pegoraro et al. (2018) relataram valores de estoque carbono estatisticamente similares entre o solo da pastagem e da floresta nativa.

Pesquisando até a profundidade de 100 cm sobre o carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal, Sales et al. (2018) analisaram que a pastagem apresentou teores de estoque de carbono orgânico estatisticamente semelhantes à floresta secundária.

#### 4.8- Estoque de Carbono Orgânico Particulado

O estoque de carbono orgânico particulado (ECOP) é exibido na Tabela 9 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Grandes oscilações foram observadas nas quantidades de estoque de carbono orgânico particulado, de 0 até 100 cm ocorreu variações de valores à medida que foi aumentando a profundidade. Os estoques determinados pelo método da camada equivalente provocaram essas variações nos dados. Os estoques nas camadas de 0 até 40 cm possuem amostragem de 10 cm de solo coletado, diferente dos de 40 até 100 cm que possuem 20 cm de solo coletado.

**Tabela 9.** Média e desvio padrão do estoque de carbono orgânico particulado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	26,35 $\pm$ 15,65 a	30,85 $\pm$ 6,65 a	12,73 $\pm$ 2,41 b	7,13 $\pm$ 0,49 c	6,71 $\pm$ 4,13 bc
10 - 20	8,24 $\pm$ 1,10 a	4,10 $\pm$ 1,02 c	6,62 $\pm$ 0,72 b	7,30 $\pm$ 1,04 ab	0,76 $\pm$ 0,44 d
20 - 30	12,66 $\pm$ 9,70 a	1,69 $\pm$ 1,23 b	4,52 $\pm$ 2,03 ab	6,64 $\pm$ 5,12 ab	1,55 $\pm$ 2,49 b
30 - 40	8,11 $\pm$ 3,12 a	5,76 $\pm$ 0,90 ab	2,61 $\pm$ 1,12 b	4,50 $\pm$ 1,31 b	2,76 $\pm$ 3,38 ab
40 - 60	10,54 $\pm$ 4,34 a	4,82 $\pm$ 1,30 b	3,82 $\pm$ 1,75 b	5,85 $\pm$ 6,59 ab	5,45 $\pm$ 2,75 ab
60 - 80	6,06 $\pm$ 4,35 a	4,10 $\pm$ 4,00 a	6,24 $\pm$ 2,64 a	8,49 $\pm$ 3,76 a	1,86 $\pm$ 1,43 b
80 - 100	3,26 $\pm$ 1,53 b	1,34 $\pm$ 1,98 b	4,42 $\pm$ 1,17 b	9,24 $\pm$ 2,60 a	3,39 $\pm$ 3,49 ab
Médias	10,75	7,52	5,85	7,02	3,21

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Na primeira camada do solo (0-10 cm) os ecossistemas naturais tiveram maiores porcentagens de carbono orgânico particulado não se diferenciando estatisticamente, isso se deve as entradas de ECOP por meio de resíduos orgânicos no solo.

Na profundidade de 0-10 cm (Tabela 9) comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos uma redução de ECOP por conta da conversão em pastagem, corroborada através das reduções nas adições de resíduos orgânicos. A P2 possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1) e mostrou perder ECOP através de uma possível decomposição após a conversão em pastagem, além de menores entradas de materiais orgânicos na superfície do seu solo. Essa redução dos valores de ECOP denunciam a qualidade de matéria orgânica aportada no solo e o manejo incorreto nesses ambientes.

Ainda na camada de 0-10 cm de profundidade, observamos que a conversão do ecossistema natural de referência (EN2) em P3 reduziu consideravelmente o ECOP no solo. A falta de manejo nesse ambiente somada as reduções no aporte de biomassa, limitaram o crescimento regular de suas gramíneas, reduzindo a capacidade que o solo teria em acumular ECOP.

No intervalo de 10 a 40 cm (Tabela 9), confrontando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), constatamos uma estabilidade do ECOP nesse intervalo à medida que a profundidade foi aumentando. Apesar disso, a conversão em P1 reduziu os teores de ECOP, justificado por uma baixa deposição de resíduos orgânicos e um manejo incorreto nesse ambiente. Nesse mesmo intervalo de profundidade, a P2 que possui o mesmo ecossistema natural de referência (EN1), após a conversão apresentou os menores níveis de decomposição de ECOP entre as pastagens, estabilizando-se. Possivelmente auxiliada pelas adições de resíduos da braquiária e por suas raízes que protegeram fisicamente o ECOP.

Entre 10 a 40 cm, na conversão do EN2 em P3, observamos a maior redução do ECOP dentre os ambientes, na camada de 10-20 cm, com cerca de  $0,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Ocorrida possivelmente pela decomposição do carbono lábil. Entretanto, de 20 até 40 cm houve estabilidade de ECOP após a conversão.

No intervalo de 40 até 100 cm (Tabela 9), comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos que apesar de menores valores de ECOP, ocorreu certa estabilidade, indicado pela camada de 60-80 cm. Nesse mesmo intervalo de profundidade, a conversão de EN1 em P2, também apresentou estabilidade do ECOP. Em subsuperfície houve um menor impacto do manejo incorreto no solo e consequentemente ocorreu considerável proteção do carbono lábil nesses ambientes.

De 40 até 100 cm, o ambiente P3 estabilizou de certa forma o ECOP, porém na profundidade de 60-80 cm, apenas essa camada de profundidade se diferenciou estatisticamente, o que indica que o sistema radicular das gramíneas nessa camada de profundidade não protegeu a matéria orgânica, ocorrendo decomposição de carbono lábil.

Os ambientes EN1 e EN2 apresentaram maiores médias de ECOP, 10,7 Mg ha<sup>-1</sup> e 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 9). Destacando principalmente o EN1, que é o ambiente que demonstrou possuir maior estabilidade no ECOP, com diferenciação estatística entre as camadas apenas de 80-100 cm. O aporte de resíduos orgânicos recalcitrantes, provavelmente melhorou a qualidade da matéria orgânica nesse ambiente. Para estabilizar ou elevar os teores de ECOP é essencial à incorporação de resíduos, estabelecendo um equilíbrio na adição e perda do carbono no solo.

Dentre os ecossistemas naturais, o EN1 foi superior ao EN2 no acúmulo de ECOP. A diferença entre os ambientes é explicada pela composição dos resíduos e pela velocidade de decomposição, o EN1 indicou manifestar resíduos mais recalcitrantes que o EN2. Esses valores do EN1 também estão relacionados a estabilidade da matéria orgânica.

Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação foi constatado maior capacidade de ECOP no EN1 cerca de 45,6% que na P1. O EN1 também apresentou maior ECOP que a P2, cerca de 34,7%. O EN2 apresentou 57,3% maior capacidade de ECOP que a P3. Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, os ecossistemas naturais apresentaram 41% maior capacidade de acumular ECOP no solo.

Os ecossistemas naturais demonstraram maiores entradas de resíduos vegetais e possivelmente menores impactos no solo, conservando notavelmente o carbono lábil quando comparado com as pastagens. A proteção do estoque de carbono orgânico particulado dentro dos agregados aumenta o tempo que a matéria orgânica permanece no solo, ampliando ao longo do tempo o estoque de carbono no solo. Além disso, verificamos resultados que apontam que a superfície do solo nos ecossistemas naturais está mais conservada do que nas pastagens.

Avaliando os estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra até 100 cm de profundidade, relata Saldarriaga (2016) resultados que não são significativos para ECOP, porém ele encontrou valores superiores de ECOP na mata nativa em comparação as pastagens estudadas.

Apesar de não ter obtido efeito significativo, Ensinas (2012) examinando atributos químicos e frações da matéria orgânica em Latossolo sob diferentes sistemas de uso, encontrou dados semelhantes, com maiores teores de estoque de carbono particulado na mata nativa do que na pastagem.

Pesquisando sobre os estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica do solo sob sistemas silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental, Oliveira (2018)

encontrou resultados semelhantes a esta dissertação. Seus dados indicaram maiores teores de ECOP no ambiente de mata nativa do que no ambiente de pastagem.

#### 4.9- Estoque de Carbono Orgânico associado aos Minerais

O estoque de carbono orgânico associado aos minerais (ECOM) é exibido na Tabela 10 em função das médias e do desvio padrão, apresentando efeitos significativos em todos os ambientes e profundidades. Oscilações foram observadas nas quantidades do estoque de carbono orgânico associados aos minerais. De 0 até 40 cm houve uma diminuição à medida que foi aumentando a profundidade. Nas camadas de 40 até 100 cm ocorreu uma elevação nas quantidades de estoque, que depois diminuíram com o aumento da profundidade. Os valores superiores de estoque nas camadas de 40 até 100 cm se deve ao aumento dos centímetros da amostragem de solo, as primeiras camadas possuíam apenas 10 cm, a partir dos 40 cm se observa 20 cm de amostra de solo coletado.

De 0-10 cm de solo (Tabela 10), confrontando a P1 e a P2 com o seu ecossistema natural de referência (EN1) observamos um aumento do ECOM. A textura do solo (Tabela 1) constata que na conversão de ecossistema para pastagem, tanto na P1 quanto na P2 os teores de areia diminuíram e os teores de silte e argila aumentaram. A P1 e P2 apresentaram respectivamente, 35,8% e 36% de argila nessa camada de profundidade, sendo as maiores em comparação aos outros ambientes. Evidenciando a estabilização do carbono em solos com maior conteúdo de argila (Zinn et al., 2012).

**Tabela 10.** Média e desvio padrão do estoque de carbono orgânico associado aos minerais ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos perfis (0-100 cm).

Profundidade cm	EN1	EN2	P1	P2	P3
0 - 10	$19,90 \pm 16,34$ ab	$5,36 \pm 4,73$ c	$34,80 \pm 3,94$ a	$29,08 \pm 1,16$ b	$9,71 \pm 7,12$ c
10 - 20	$19,85 \pm 2,27$ ab	$22,77 \pm 1,73$ a	$20,13 \pm 0,38$ b	$20,52 \pm 0,56$ ab	$19,07 \pm 0,48$ c
20 - 30	$12,86 \pm 10,28$ ab	$13,61 \pm 4,27$ b	$17,94 \pm 3,94$ ab	$22,25 \pm 4,24$ a	$17,05 \pm 2,35$ ab
30 - 40	$14,14 \pm 3,34$ b	$15,35 \pm 0,47$ b	$13,50 \pm 0,37$ b	$18,32 \pm 1,79$ a	$13,61 \pm 4,15$ ab
40 - 60	$31,87 \pm 2,54$ a	$33,03 \pm 2,28$ a	$24,58 \pm 3,23$ a	$33,86 \pm 5,87$ a	$29,16 \pm 1,26$ a
60 - 80	$25,97 \pm 4,53$ a	$25,99 \pm 5,85$ ab	$16,21 \pm 4,08$ b	$28,44 \pm 2,50$ a	$24,95 \pm 2,32$ a
80 - 100	$27,04 \pm 2,18$ a	$17,64 \pm 0,65$ c	$13,55 \pm 0,44$ d	$20,86 \pm 1,37$ b	$16,34 \pm 4,11$ cd
Médias	21,66	19,11	20,10	24,76	18,56

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Bonferroni 5%.

Nessa camada de profundidade (0-10 cm) a P3 comparada ao seu ecossistema natural de referência (EN2) manifestou um aumento de ECOM, mas esses resultados não apresentaram diferença significativa, indicando que o ECOM se estabilizou nessa camada

de profundidade. Os dados texturais (Tabela 1) demonstram que os teores de areia e silte se apresentaram maiores que no EN2 e os teores de argila diminuíram, possivelmente essa adição de ECOM pode estar relacionada com o aumento do silte no solo.

Entre 10 até 40 cm (Tabela 10) com a conversão do EN1 em P1, as porcentagens de silte continuaram aumentando, os teores de areia aumentaram e os de argila diminuíram com a profundidade, provocando uma redução do ECOM nesse intervalo de profundidade. Apesar disso, ocorreu uma estabilização do estoque nesse intervalo, não apresentando diferença significativa. A estabilização pode ser justificada pelo sistema radicular das gramíneas que agregaram as partículas do solo e adicionaram matéria orgânica por rizodeposição, aumentando o teor do ECOM (Carmo et al., 2012).

Entre 10 até 40 cm, confrontando a P2 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), sua textura obteve reduções nos teores de areia e aumento nos teores de silte e argila (Tabela 1). Os resultados apontam que a P2 obteve estabilidade e adição do ECOM nesse intervalo de profundidade, conservando esse estoque mesmo após a conversão em pastagem (Tabela 10). Nessa profundidade, a matéria orgânica se estabilizou com a interação das partículas minerais do solo.

Entre 10 a 40 cm, na conversão do EN2 em P3 observamos que os teores de areia reduziram e os de silte e argila aumentaram, possivelmente esses teores de silte e argila fizeram com que o ECOM se elevasse. Diferente dos teores de ECOP, a P3 possui razoáveis níveis de ECOM, isso ocorre porque esse estoque é menos impactado pelo uso e manejo do solo em curto prazo de tempo (Santos et al., 2012).

No intervalo de 40-100 cm (Tabela 10), o EN1 se destaca, não possuindo diferenças significativas nesse intervalo de profundidade e demonstrando estabilidade no ECOM. Comparando a P1 com o seu ecossistema natural de referência (EN1), a textura do solo (Tabela 1) de forma geral demonstrou que os teores de areia aumentaram e os teores de silte e argila diminuíram, esses resultados atestam a redução nos teores de ECOM através da perda da associação de carbono com a argila.

No intervalo de 40-100 cm, a P2 com o mesmo ecossistema natural de referência (EN1), também manifestou aumento nos teores de areia e nos teores de silte e uma diminuição nos teores de argila, entretanto apenas a profundidade de 80-100 cm se diferenciou estatisticamente. Demonstrando que de 40 a 80 cm a P2 estabilizou fisicamente o ECOM. No intervalo de profundidade de 20 a 80 cm a P2 não apresenta diferenças significativas, o que demonstra que o ECOM está altamente estabilizado nessas camadas e que essa pastagem sofreu pouca alteração nesse intervalo de profundidade com a conversão (Carmo et al., 2012).

No intervalo de 40-100 cm, comparando a P3 com o seu ecossistema natural de referência (EN2), os dados de textura apresentam em geral menores teores de areia, teores de silte constantes e aumentos nos teores de argila, com isso a P3 apresenta maiores valores de ECOM, se apresentando estável em profundidade mesmo após a conversão. As maiores quantidade de argila nas camadas mais profundas proporcionaram um maior ECOM nessas camadas. A camada de 40-60 cm de todos os ambientes também não se diferenciou estatisticamente, apresentando estabilidade no ECOM após a conversão.

Dentre os ecossistemas naturais, o EN1 foi superior ao EN2 no acúmulo de ECOM. O EN1 obteve potencial em estocar carbono associados aos minerais, promovendo uma proteção física nos agregados e possivelmente entradas de resíduos ricos em carbono que se manifestaram mais recalcitrantes do que no EN2.

A média geral dos ambientes aponta que a P2 e EN1 apresentaram maiores médias de ECOM,  $24,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $21,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Promovendo um acúmulo de ECOM e protegendo a matéria orgânica do solo. A P1, EN2 e P3, com  $20,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $19,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $18,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente, foram os ambientes que obtiveram menor média de ECOM, o que pode justificar esses valores é a maior quantidade de areia nesses ambientes, associando menos carbono em comparação com os outros ambientes.

Nas camadas mais superficiais (0 até 40 cm) as pastagens possuem consideráveis valores de ECOM, em profundidade (40 até 100 cm) os ecossistemas naturais apresentaram valores superiores. O que é plausível vendo que o ECOM é menos modificado pelo manejo. Provavelmente a decomposição das gramíneas com altos teores de lignina nos ambientes de pastagens se associaram aos complexos organominerálicos na superfície do solo ficando protegida coloidalmente, elevando os teores de ECOM e estabilizando esse carbono.

Analisando as pastagens e seus respectivos ecossistemas de comparação, constatamos que o EN1 apresentou 7,2% maior capacidade de ECOM no solo que a P1. A P2 apresentou cerca de 14,3% maior ECOM que o EN1. O EN2 apresentou 2,9% maior capacidade de ECOM que a P3. Calculando a porcentagem geral das pastagens em comparação aos ecossistemas naturais, as pastagens apresentaram 4% maior capacidade de acumular ECOM no solo.

Estes resultados contrastam com os de Oliveira (2018) pesquisando sobre os estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica do solo sob sistemas silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental, seus dados indicaram maiores teores de ECOM no ambiente de mata nativa do que no ambiente de pastagem degradada.

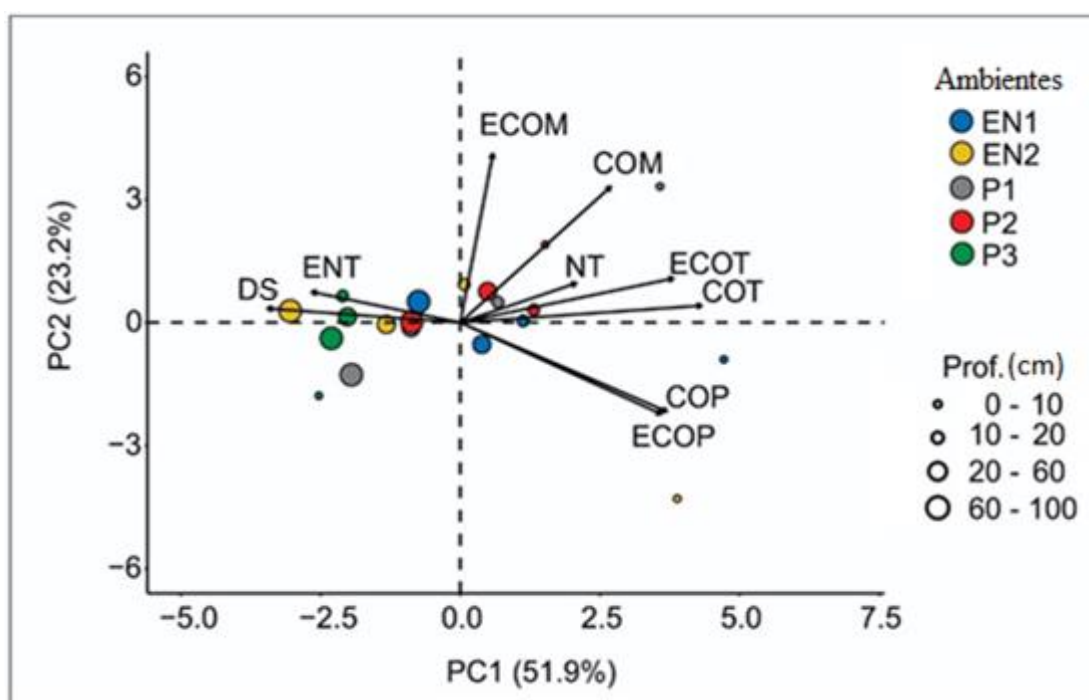
Avaliando os estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra até 100 cm de profundidade, Saldarriaga (2016) relata

resultados diferentes, encontrando valores superiores de ECOM na mata nativa em comparação as pastagens estudadas.

Examinando até 100 cm a dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus, Santos et al. (2017) encontraram que os dados não diferiram entre os ambientes nas diferentes profundidades, porém a área nativa de referência obteve maiores teores de estoque de carbono associado aos minerais do que a pastagem nativa em uso.

#### 4.10- Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais é exibida na Figura 6. As maiores profundidades, de 20 até 100 cm dos ambientes EN1, EN2, P1, P2 e P3, se correlacionam positivamente com os atributos de DS e ENT. As profundidades de 0 até 100 cm do ambiente P3, foram as que melhor se correlacionaram com os atributos de DS e ENT, tais atributos são correlatos negativos com o COP e o ECOP.



**Figura 6.** Análise de componentes principais nos perfis (0-100 cm).

A correlação da DS e o ENT, principalmente na P3, constata que à medida que as DS foram elevando maiores foram os teores de ENT acumulados nos ambientes. Hipoteticamente devido a uma provável redução do processo de desnitrificação ocasionada pelo aumento da densidade, redução da aeração e entrada de água no solo. Intensificada pela diminuição da adição de carbono orgânico. A diminuição da deposição de resíduos orgânicos com a conversão em pastagem e a decomposição mais lenta das gramíneas dificultou a entrada da matéria orgânica nesse ambiente, restringindo a desnitrificação (Santos, 2014).

Os atributos de COP e ECOP estão intimamente associados e se correlacionaram com as menores profundidades. O EN2 na profundidade de 0-10 cm, e o EN1, que foi o único ambiente que se correlacionou com esses atributos de 0 até 60 cm. Os ecossistemas naturais apresentam maiores adições de resíduos orgânicos no solo, contribuindo para o aumento de carbono nesse ambiente.

Os atributos de COT, ECOT e NT estão associados, os resíduos orgânicos depositados nos ambientes acabam adicionando tanto carbono quanto nitrogênio ao solo. A P1, P2 e o EN1 no PCA, se correlacionaram nos atributos de COT, ECOT, NT, COM e ECOM. Esses atributos também se destacam por ter correlacionado com menores profundidades. As camadas superficiais do solo apresentaram quantidades significativas de carbono e nitrogênio que foram reduzindo à medida que a profundidade foi aumentando, porém valores consideráveis de carbono e nitrogênio foram encontrados em subsuperfície.



## 5- CONCLUSÃO

A conversão de ecossistema natural em pastagem afeta os estoques de carbono e nitrogênio e modificam a sua dinâmica no solo, provocando alterações nos compartimentos e afetando a adição de resíduos orgânicos no solo. A intervenção humana nos ecossistemas naturais e a implantação de sistemas agropecuários contribuem para a emissão de carbono e nitrogênio para a atmosfera.

Os maiores teores de COT, COP, ECOT e ECOP, aliado a pequenas diferenças de teores de NT, COM, ENT e ECOM para as pastagens, atestam que os ecossistemas naturais conseguiram conservar os agregados e proporcionar uma melhor qualidade física do solo (menores valores de densidade), com potencial para reduzir as perdas e propiciar estabilidade do carbono e nitrogênio no solo.

A distribuição vertical de carbono e nitrogênio em solos é fundamental para a quantificação dos estoques de carbono e nitrogênio, principalmente em solos profundos como Latossolos. Houve uma contribuição na contabilização do carbono e do nitrogênio armazenados em profundidade, encontrando estoques em quantidades significativas.

Espera-se que novas pesquisas sejam realizadas, alimentando a base e os dados disponíveis sobre estoques de carbono e nitrogênio no estado da Paraíba. Dessa forma, lacunas que não foram analisadas nesta dissertação poderão ser preenchidas com dados inéditos sobre o acúmulo de carbono e nitrogênio nas principais classes de solos do Nordeste brasileiro em distintos sistemas de uso.

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZONAS, N. T.; **Ciclagem de nitrogênio em uma cronosequência formada por florestas restauradas e florestas naturais**. 2010, 93 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, 2010.

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P. C.. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 85-94, Jul/Set, 2017.

BATJES, N. H.. Landmark Papers: Total carbon and nitrogen in the soils of the world. British Society of Soil Science, **European Journal of Soil Science**, v. 65, p. 4-21, 2014.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V.. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil Till. Res.**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O. K. et al. (Org.). Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 222-227, 2011.

BREMNER, J. M.. Nitrogen-total. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 3. Chemical Methods. Madison: Soil Science Society of America, p. 1085-1121, 1996. (Book series, 5).

BRUUN, T. B.; ELBERLING, B.; CHRISTENSEN, B. T.. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. **Soil Biol. Biochem.**, v. 42, p. 888-895, 2010.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R.. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 128-135, Mar/Jun, 2012.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E. T.. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, C. D.. **Relação entre carbono orgânico total, glomalina e estabilidade de agregados em Neossolo Litólico**. 2018, 32 f. Monografia (Engenheiro Agrônomo) - Universidade Federal da Paraíba, Areia - PB, 2018.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F.. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesq. agropec. bras.**, v.45, n.9, p. 1028-1035, 2010.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G.. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, May/June, 2012.

CASTILHO, S. C. P.. **Influência da transformação floresta-pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do estado do Pará**. 2014, 164 f. Tese (Doutora em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP, 2014.

CHAVES, S. S. F.; MARTORANO, L. G.; CAMARGO, P. B.; EL-HUSNY, J. C.; FERNANDES, P. C. C.; VALENTE, M. A.. Estoque de carbono no solo em área de pastagem convencional e sistema agrossilvipastoril em Paragominas. In: II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, 2013, Belém. **Anais...**, Nov, 2013.

CIDIN, A. C. M.. **Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa**. 2016, 75 f. Dissertação (Mestre em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, Araras – SP, 2016.

CONANT, R. T.; CERRI, C. E. P.; OSBORNE, B. B.; PAUSTIAN, K.. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. **Ecological Applications**, v. 27, n. 2, p. 662-668, 2017.

CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R.. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 75-83, Jan/Mar, 2015.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P.. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N<sub>2</sub>O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 195-203, Fevereiro, 2010.

DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CCERUTTI, T.. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó – SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.

DIAS-FILHO, M. B.. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4.ed. rev. atual e ampl. Belém: Ed. do Autor, 2011.

DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N.. **As pastagens e o meio ambiente**. In book: Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. ed. 1, cap. 7, publicado: M. de L. Brandel-ME, editores: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R.. p. 93-105, Janeiro, 2013.

EMBRAPA. Embrapa Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. ed. 2, p. 230, 2011.

EMBRAPA. Embrapa Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, ed. 3, rev. ampl., p. 353, 2013.

EMBRAPA. Embrapa solos. **Solos do Nordeste**. Recife, p.14, 2014.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

ENSINAS, S. C.. **Atributos químicos e frações da matéria orgânica em latossolo sob diferentes sistemas de uso**. 2012, 49 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, 2012.

FAOstat - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical databases. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

FERNANDES, J. S.. **Azospirillum brasilense e adubação nitrogenada na Brachiaria decumbens**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; GIAROLA, N. F. B.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BAVOSO, M. A.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q.. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campo Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 437-445, 2011.

FERREIRA, E. J. L.; JUNIOR, J. G. S.; SANTOS, M. S.; PINHEIRO, R. M.; LIMA, P. R. F.. Estimativa da capacidade de estoque de biomassa e carbono e sua importância para a conservação de fragmentos florestais no leste do Acre. In. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2016, Campina Grande-PB. **Anais...**, 2016.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C.. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 907-916, 2010.

FONTAINE, S.; BAROT, S.; BARRE, P.; BDIOUI, N.; MARY, B.; RUMPEL, C.. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, v. 450, p. 277-280, 2007.

FRANCO, R.. **Fauna edáfica sob modelos em estágio inicial de restauração de floresta subtropical**. 2016, 138 f. Tese (Doutora em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco – SC, 2016.

GARCIA, M. R. L.; NAHAS, E.. Microbial populations and the activity of the soil under agricultural and agricultural–pastoral systems. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 58, n. 5, p. 511–525, Maio, 2012.

GITE/EMBRAPA, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/intensificacao-e-sustentabilidade-dos-sistemas-de-producao-agricolas>>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

GROPPO J. D.; LINS, S. R. M.; CAMARGO, P. B.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; MARTINELLI, L. A.. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. **Biogeosciences**, v. 12, p. 4765-4780, 2015.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2014.

JANDL, R.; RODEGHIERO, M.; MARTINEZ, C.; COTRUFO, M. F.; BAMPA, F.; WESEMAEL, B.; HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; RICHTER, D. D.; RUSTAD, L.; LORENZ, K.; CHABBI, A.; MIGLIETTA, F.. Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. **Sci Total Environ**, 468-469:376-383, 2014.

JEONG, S. H.; EOM, J. Y.; PARK, J. Y.; LEE, J. H.; LEE, J. S.. Characteristics of accumulated soil carbon and soil respiration in temperate deciduous forest and alpine pastureland. **Journal of Ecology and Environment**, 42:3, 2018.

JESUS, K. N.. **Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco**. 2017, 112 f. Tese (Doutor em Ciências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2017.

JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R.G. M.; PAREYN, F. G. C.; MENEZES, R. S.C.; SAMPAIO, E. V.S.B.; COSTA, T. L.; ALTHOFF, T. D.. **Guia metodológico para o desenvolvimento de atividades de campo e laboratório do projeto CNPq REDE – C – NE**. Energia da Biomassa-Grupo de Pesquisa. Recife, Abril, 2016.

LAL, R.. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, Ohio, 2015.

LIU, Z.; SHAO M.; WANG, Y.. Effect of environmental factors on regional soil organic carbon stocks across the Loess Plateau region, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, p. 184–194, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J.. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Biosci. J., Uberlândia**, v. 30, n. 1, p. 43-54, Jan/Feb, 2014.

LOVELOCK, C. E., WRIGHT, S. F., CLARK, D. A., RUESS, R. W.. Stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi in soil across a tropical rain forest landscape. **J. Ecol.**, v. 92, p. 278-287, 2004.

MAO, N.; HUANG, L.; SHAO, M.. Vertical distribution of soil organic and inorganic carbon under different vegetation covers in two toposequences of the Liudaogou watershed on the Loess Plateau, China. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 73, n. 4, Jul/Aug, 2018.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; CRUZ JUNIOR, O. F.. Distribuição de carbono nas frações do solo sob área de floresta. In. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis-SC. **Anais...**, 2013.

MEDEIROS, B. M.. **Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba**. 2018, 38 f. Monografia (Engenheiro Agrônomo) - Universidade Federal da Paraíba, Areia - PB, 2018.

MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; CORREIA, M. E. F.; BALIEIRO, F. C.; PICCOLO, M. C.. Organic matter in areas under secondary forests and pasture. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 3, Jul/Sept, 2017.

MORAIS, D. H. O.; ROSSET, J. S.; SILVA, C. A.; SANTOS, T. M. D.; CASTILHO, S. C. P.. Frações físicas granulométricas da matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2017, Campo Grande-MS. **Anais...**, 2017.

NAIR, P. K. R.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NAIR, V. D.. **Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado)**. In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (Ed.). Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges. Dordrecht: Springer, p. 145-162, 2011. (Advances in Agroforestry, 8).

NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C.. Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 871-879, 2015.

NOBRE, C. P.; LÁZARO, M. L.; SANTO, M. M. E.; PEREIRA, M. G.; BERBARA, R. L. L.. Agregação, glomalina e carbono orgânico na Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 138-147, 2015.

OJEDA, J. J.; CAVIGLIA, O. P.; AGNUSDEI, M. G.. Vertical distribution of root biomass and soil carbon stocks in forage cropping systems. **Plant Soil**, 423, p. 175–191, 2018.

OLIVEIRA, D. C.; CERRI, C. E. P.. Estoque de carbono em pastagens no Brasil: uma revisão. In. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal-RN. **Anais...**, 2015.

OLIVEIRA, H. M. R.. **Estoques de C e N em frações da matéria orgânica do solo sob sistemas silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental**. 2018, 59 f. Dissertação (Mestre em Ciência Animal) - Universidade Federal do Tocantins, Araguaína - TO, 2018.

OLSON, K. R.; AL-KAISE, M. M.; LAL, R.; LOWERY, B.. Experimental consideration, treatments, and methods in determining soil organic carbono sequestration rates. **Soil Science Society of America Journal**, March, 2014.

PÁDUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L.. Modelagem da Densidade do Solo em Profundidade sob Vegetação Nativa em Minas Gerais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.39, n.3, May/Jun, 2015.

PEGORARO R. F.; MOREIRA, C. G.; DIAS, D. G.; SILVEIRA, T. C.. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 574-583, Out/Dez, 2018.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S.; DAMBRO, C. S.. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 341-354, 2011.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G.. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in sothwest China. **Soil Biology Biochemistry**, v. 57, n. 2, p. 411-417, 2013.

PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.. **Avaliação da fertilidade do solo, agregação e frações da matéria orgânica do solo em áreas de plantio direto, preparo covencional, floresta e pastagem em Marmeleiro, Paraná**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 34 f., 2012.

PRIMIERY, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M.. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, 24, 2017.

RAMOS, D. D.; SILVA, E. F.; ENSINAS, S. C.; SOUZA, N. H.; POTRICH, D. C.; FREITAS, M. E.; FORMAGIO, A. S. N.; VIEIRA, M. C.. Stocks of carbon, total nitrogen and humic substances in soil under different cropping systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2219-2228, Set./Out, 2013.

RIBEIRO, L. R. P.. **Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho**. 2016, 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília, 2016.

RIGOLIN, I. M.; SANTOS, C. H.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S.. Estoque de carbono do solo em sistemas vegetais com manejo agrícola diferenciado no oeste paulista. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, p. 16-29, Jul/Dez, 2013.

RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I.. Deep soil organic matter - a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. **Plant and Soil**, v. 338, p. 143-158, 2011.

SAIZ, G.; BIRD, M. I.; DOMINGUES, T.; SCHRODT, F.; SCHWARZ, M.; FELDPAUSCH, T. R.; VEENENDAAL, E.; DJAGBLETEY, G.; HIEN, F.; COMPAORE, H.; DIALLO, A.; LLOYD, J.. Variation in soil carbon stocks and their determinants across a precipitation gradient in West Africa. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1670-1683, May, 2012.

SALDARRIAGA, F. V.. **Estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra**. 2016, 67 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2016.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M.. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 1-15, Jan/Mar, 2018.



SANTOS, C. D.. **Influência da relação carbono/nitrogênio e da fonte de carbono no processo de nitrificação desnitrificação simultânea em reator de leito estruturado**. 2014, 144 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP, 2014.

SANTOS, D. C.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; CARVALHO, J. S.; ABEIJON, L. M.; PILLON, C. N.. Agregação e proteção física da matéria orgânica em Planossolo háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 28:54-63, 2012.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA, E. B.. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Scientia Agraria**, 18(2):43, July, 2017.

SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G.. Atributos físicos e químicos do solo de Áreas sob Pastejo na Micro Região do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 12, p. 2486-2492, Dezembro, 2010.

SANTOS, U. J.. **Frações do carbono e indicadores biológicos em solo do semiárido sob diferentes usos e coberturas vegetais**. 2016, 77 f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, 2016.

SEEG, 2017. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <[http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/11/SEEG\\_PR\\_full\\_final.pdf](http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/11/SEEG_PR_full_final.pdf)>. Acesso em 02 de Julho de 2018.

SILVA, L. C.; ARAÚJO, E. J. G.; CURTO, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; ATAÍDE, D. H. S.; MORAIS, V. A.. Estoques de biomassa e carbono em unidade de conservação no bioma Mata Atlântica. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 2, p. 234-251, 2018.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M.E.; ABRANTES, F.L.; BERTI, C.L.F.; SOUZA, L.C.D.; ARRUD, N. Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. **Agrarian**. Dourados, v.7, n.24, p. 233-243, 2015.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V.. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, Clermont-Theix, v. 4, n. 3, p. 334-350, 2010.

TAVARES, R. L. M.; NAHAS, E.. Humic fractions of forest, pasture and maize crop soils resulting from microbial activity. **Braz. J. Microbiol**, v. 45, n. 3, São Paulo, Jul/Set, 2014.

TOLESSA, T.; SENBETA, F.. The extent of soil organic carbon and total nitrogen in forest fragments of the central highlands of Ethiopia. **Journal of Ecology and Environment**, 42:20, 2018.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M.. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 309-316, 2010.

VENDRUSCOLO, J.; RIBEIRO, T. S.; MESQUITA, F. O.; ALVES, A. S.; SANTOS, G. A.. Propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo comparados a quatro tipos de solos na Paraíba – Brasil. **Revista Verde**, v. 6, n. 4, p. 204-212, 2011.

YANG, F.; HUANG, L.; YANG, R.; YANG, F.; LI, D.; ZHAO, Y.; YANG J.; LIU, F.; ZHANG, G.. Vertical distribution and storage of soil organic and inorganic carbon in a typical inland river basin, Northwest China. **Journal of Arid Land**, v. 10, n. 2, p. 183-201, 2018.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M.. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v. 19, n 13, p. 1467-1476, 1988.

ZINN, Y. L.; GUERRA, A. R.; SILVA, A. C.; MARQUES, J. J.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões Sul e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1395-1406, Out/Nov, 2012.